

## LISÍMETROS DE PESAGEM COM DRENAGEM AUTOMATIZADA: CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO

ARTHUR CARNIATO SANCHES<sup>1</sup>, DÉBORA PANTOJO DE SOUZA<sup>2</sup>, FERNANDO CAMPOS MENDONÇA<sup>3</sup>, RODOLFO GUERTAS MAFFEI<sup>4</sup>, BARBARA DELLA ANTONIA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Depto. Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Piracicaba/SP, (19) 981635686; [arthur\\_carniato@usp.br](mailto:arthur_carniato@usp.br)

<sup>2</sup>Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

<sup>4</sup>Acadêmicos do curso de Engenharia Agrônômica, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

Apresentado no  
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** Uma das dificuldades na utilização de lisímetros de pesagem é a quantificação do volume drenado. Normalmente esse volume é medido por um acesso à sua base por meio de um fosso, inviável em lisímetros de pequenas proporções. Assim, objetivou-se verificar a eficiência de um sistema de drenagem automatizado em quatro lisímetros e testar sua funcionalidade a campo. Cada lisímetro é composto por uma caixa d’água de PVC circular, com 1,22 m de diâmetro e profundidade de 0,58 m, montado sobre uma estrutura metálica com 3 células de carga de capacidade nominal de 500 kg cada. O sistema de drenagem foi composto por um pequeno reservatório com capacidade máxima de 10 litros, uma estrutura de pesagem composta por uma célula de carga com capacidade nominal de 30 kg e uma válvula solenoide automática acionada por um *datallogger*, que registra os dados dos lisímetros e do sistema de drenagem. Foram realizadas calibrações das células de carga dos lisímetros e do sistema de drenagem. Os resultados das calibrações apresentaram ajustes com correlação significativa ( $r^2 > 0,9999$ ), tanto para os lisímetros quanto para os drenos. Após receber aproximados 63,4 litros de água por precipitação, o sistema de drenagem foi acionado várias vezes, com bom funcionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração, balanço hídrico, consumo de água

### LYSIMETERS WEIGHING WITH AUTOMATED DRAINAGE: CONSTRUCTION AND CALIBRATION

**ABSTRACT:** One of the difficulties in using weighing lysimeters is quantifying the drained volume. It is usual to collect this water by a ditch that allows the access to the base of the lysimeter, is not feasible in lysimeters of small proportions. Thus, this work aimed to verify the efficiency of an automatic drainage system in four lysimeters, and to test its functionality in the field. Each lysimeter comprises a round water tank with a diameter of 1.22 m and 0.58 m deep, placed over a metal frame with 3 electronic load cells with nominal capacity of 500 kg. The drainage system comprises a small reservoir with a capacity of 10 liters, a weighing structure comprising a load cell with a nominal capacity of 30 kg and a self-opening solenoid valve, commanded by a *datallogger* that also records the weighing data. It was made a calibration for the load cells of the lysimeters, and to the drain system. The results of the calibration adjustments showed a significant correlation ( $r^2 > 0.9999$ ) for both, the lysimeters and the drain system. After receiving the equivalent of 63.4 liters of water from a rainfall, the drainage system triggered several times, with a good performance.

**KEY WORDS:** Evapotranspiration, water balance, water consumption

## INTRODUÇÃO

O conhecimento da evapotranspiração é de grande importância para o dimensionamento de projetos de irrigação, bem como para manejar eficientemente esses equipamentos (CARVALHO et al., 2013). Diversos equipamentos e métodos podem ser usados para determinar a evapotranspiração e a evaporação, dentre eles, os lisímetros.

A lisimetria de pesagem consiste em medir a variação do peso de um bloco de solo, devido à entrada de água (irrigação e precipitação) e à sua saída (consumo da planta e drenagem), por meio de células de carga que monitoram a dinâmica de água no solo (CAMPECHE et al., 2011). É um dos métodos mais antigos que fornecem estimativas confiáveis, quando os requisitos fundamentais de montagem são atendidos (ALLEN et al., 2011). Os lisímetros são considerados padrões para a aferição de outros métodos de determinação ou estimativa de evapotranspiração (DE FARIA et al., 2006).

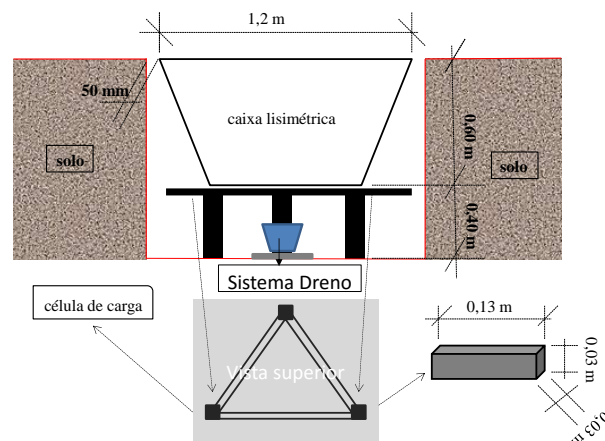
A calibração dos lisímetros é realizada com pesos padronizados, normalmente confeccionados com sacos de brita nº 1, que são adicionados ou retirados, um a um, do lisímetro, anotando-se as leituras e correlacionando-as ao peso real acumulado por meio de um modelo de análise linear, que atinge alto valor de coeficiente de determinação, podendo chegar a 99,99% (CARVALHO et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; DE FARIA et al., 2006).

Assim, objetivou-se avaliar a eficiência através da calibração e coleta de dados de quatro lisímetros com sistema de drenagem automático por tempo previamente determinado.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área experimental e construção dos lisímetros

A condução do experimento ocorreu em Piracicaba-SP, em área experimental situada no *campus* da ESALQ/USP (Latitude 22° 42' sul e Longitude 47° 38' Oeste, com altitude 546 m), na qual foram construídos quatro lisímetros de pesagem com sistema de drenagem automatizada. A estrutura de alvenaria de cada lisímetro possuía 1,3 m de diâmetro e profundidade de 1,0 m (Figura 1). Os recipientes dos lisímetros foram constituídos por caixas de PVC rígido, com diâmetro superior e inferior de 1,22 e 0,95 m, altura de 0,58 m e volume de 500 litros. Cada caixa foi disposta sobre uma estrutura metálica composta por uma chapa e um triângulo de aço, com encaixe para três células de carga para pesagem. A drenagem ocorre no fundo e ao centro da caixa lisimétrica e o volume drenado é armazenado em um reservatório com capacidade máxima de 10 litros. O sistema dreno é composto pelo reservatório e por um dispositivo de pesagem com acionamento automático de esvaziamento por meio de um válvula solenoide.



**Figura 1.** Projeto Lisimétrico da área experimental, Piracicaba/SP, 2015.

## Calibração do sistema de drenagem

Para calibração do sistema de drenagem foram utilizados volumes de água pré-estabelecidos, que foram adicionados e depois retirados gradativamente. Como seria difícil remover exatamente o mesmo volume adicionado, utilizou-se de 11 pontos de adição e 12 pontos de retirada de água. A utilização da água para calibração é justificada pelo fato de o sistema só receber água, assim a calibração aproximou-se mais do funcionamento do sistema no campo.

## Calibração dos lisímetros

Baseando-se em experiências anteriores (FARIAS et al., 2015, CAMPECHE et al., 2011), cada lisímetro foi calibrado separadamente. Em todas as calibrações, o valor sem peso, medido pelas células de carga e registrado em milivolts, foi considerado como tara do lisímetro. Para os lisímetros, foram aleatoriamente adicionados pesos até um total de 336,2 kg. Em sua área superficial de 1,17 m<sup>2</sup>, o volume adicionado correspondia a 287,6 mm de água.

Posteriormente, os resultados foram submetidos a análise de regressão linear e assim gerados os coeficientes angular e linear determinando a precisão e a exatidão do equipamento.

Após a calibração dos drenos e dos lisímetros, foram obtidos dados de 7 dias, tanto nos lisímetros quanto nos drenos, para verificar a eficácia do sistema. Os dados foram obtidos no período compreendido entre 28 de novembro e 5 de dezembro de 2015, e foram analisados por meio de análise de regressão, com o auxílio da planilha eletrônica MS-Excel<sup>®</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação às células de carga do sistema de drenagem, as calibrações em campo apresentaram ajustes com correlação significativa ( $r^2 > 0,999$ ) entre as variações de massa e a resposta em voltagem. Tanto os coeficientes angulares quanto os coeficientes lineares ficaram próximos, com médias aritméticas de 16835,5; 16762,0; 16257,0; 16334,5; -7650,55; -10174,5; -9744,9 e -7729,65; respectivamente.

Transformando os dados de massa para volume (mm de água), o volume máximo corresponde na calibração dos lisímetros foi de 287,6 mm de água. Os dados determinados na calibração dos lisímetros mostraram ajustes lineares com alto coeficiente de determinação iguais a 1. Vários autores também observaram altos coeficientes de determinação, chegando a valores iguais ou próximos a 1 (Mariano et al., 2015; Vilela et al., 2015; Carvalho et al., 2013). Os coeficientes angulares e lineares estabelecidos apresentaram valores muito próximos, desta forma, as médias aritméticas foram de 755,55; 755,14; 765,33; 765,31; -830,26; -807,28; -814,33 e -797,4; respectivamente.

Na tabela 2 são apresentados os valores de massa (gramas) das avaliações a campo dos sistemas de drenos automatizados, ocorreu o acionamento de drenagem dos reservatórios entre os dias 28/11/2015 e 02/12/2015.

**Tabela 02.** Variações de peso dos sistemas drenos, período de 7 dias. Piracicaba-SP, 2015.

Data	Dados Climáticos		Dados médios diários de peso dos drenos (g)			
	Temperatura	Precipitação	Dreno 1	Dreno 2	Dreno 3	Dreno 4
28/11	24,8 °C	18,0 mm	4090 <sup>3</sup>	4105 <sup>1</sup>	4128 <sup>1</sup>	3938 <sup>2</sup>
29/11	25,0 °C	36,4 mm	5256 <sup>5</sup>	5375 <sup>5</sup>	5043 <sup>6</sup>	4764 <sup>4</sup>
30/11	25,7 °C	1,4 mm	5072 <sup>2</sup>	4898 <sup>1</sup>	5084 <sup>2</sup>	4838 <sup>2</sup>
01/12	25,3 °C	0,1 mm	5975	6299	4691 <sup>1</sup>	5192
02/12	26,5 °C	0,0 mm	6069 <sup>1</sup>	4695 <sup>1</sup>	3638	5860
03/12	27,9 °C	0,2 mm	3600	3765	4066	6042
04/12	27,1 °C	0,0 mm	3791	4254	4316	6023
05/12	26,1 °C	0,0 mm	3715	4293	4188	5945

\*obs: <sup>1</sup>um acionamento da válvula de drenagem, <sup>2</sup> dois acionamentos da válvula de drenagem, <sup>3</sup>três acionamentos da válvula de drenagem, <sup>4</sup>quatro acionamentos da válvula de drenagem, <sup>5</sup>cinco acionamentos da válvula de drenagem e <sup>6</sup>seis acionamentos da válvula de drenagem.

No acumulado dos dias as caixas lisimétricas receberam o equivalente a 63,4 litros de água devido às precipitações ocorridas, sendo que boa parte desse volume foi escoado para os reservatórios da drenagem. A maior parte desse acúmulo ocorreu nos dois primeiros dias (54,4 mm, correspondentes a 61,5 litros de água), o que justifica a drenagem e os acionamentos de válvulas ocorridas principalmente nos três primeiros dias (Tabela 02).

## CONCLUSÕES

1. Os lisímetros e os sistemas de drenagem apresentaram bons resultados, com componentes que apresentaram elevada precisão e exatidão nos dados obtidos.

2. A automação do sistema de drenagem mostrou-se prática e eficaz, facilitando a operação contínua do equipamento e mostrando medidas efetivas durante um breve período chuvoso.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio concedido ao projeto de pesquisa nº 2012/23002-6.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v.98, n.6, p.899–920, abril, 2011.

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

CAMPECHE, L. F. M. DE S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. 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.

DE 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, nº 1, p. 237-242, 2006.

MARIANO, D. C.; DE FARIA, R. T.; FREITAS, P. S. L.; LENA, B. P.; JOHANN, A. L. Construction and calibration of a bar weighing lysimeter. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, nº 3, p. 271-278, 2015.

VILELA, M. S.; FILHO, F. R. C.; TEIXEIRA, M. B.; AMARAL, A. M.; VELLAME, L. M.; SOARES, F. A. L. Acurácia de um mini-lisímetro de pesagem eletrônica de baixo custo. **IRRIGA**, v.1, nº2, p. 158-167, 2015.