

CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE DOIS LISÍMETROS DE PESAGEM COM PLANTAS DE CAFÉ ADULTAS EM LAVRAS-MG

Walfredo Sérgio Carneiro Figueiredo²; Renato Cândido Bueno³; Bruno Montoani Silva⁴; Antônio Marciano da Silva⁵; Paulo Tácito Gontijo Guimarães⁶; Gilberto Coelho⁷

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café

² Prof. M.Sc., CEFET - Januária. Doutorando, UFLA, Lavras-MG. wsergio@uai.com.br

³ Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras-MG. Bolsista CBP&D/CAFÉ. renatocbueno@yahoo.com.br

⁴ Graduando em Agronomia, UFLA, Lavras-MG. brunoms3@yahoo.com.br

⁵ Prof. Doutor, Depto. Engenharia, UFLA, Lavras-MG. Pesquisador Bolsista – CNPq. marciano@ufla.br

⁶ Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, Lavras-MG. paulotgg@ufla.br

⁷ Doutor em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras-MG. Bolsista PRODOC - CAPES. coelho@ufla.br

RESUMO: Com o avanço tecnológico, é crescente o uso de lisímetros como padrão na determinação da evapotranspiração de referência e de culturas de interesse, através do balanço de massa de água, aliado a fatores como redução do preço desta tecnologia. Desta forma, objetivou-se construir, instalar e calibrar dois lisímetros de pesagem dotados de células de carga, os quais foram preenchidos com blocos de solo indeformado e uma planta de café adulta. Um lisímetro foi instalado dentro de ambiente protegido e o outro fora. Cada caixa lisimétrica possuindo 1,5 x 1,5 x 1,0 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, foi colocada sobre uma balança com alavancas de redução de peso interligadas a uma célula de carga. Um sistema de aquisição de dados foi ligado às células de carga para automatizar o processo. A calibração se deu com a adição e retirada de sacos de brita nº 1 com massas conhecidas, que foram convertidas em equivalente de lâmina de água. Com os resultados foram gerados equações lineares dos valores de equivalentes de lâmina de água (mm) em função da voltagem, em milivolts (mV), com coeficiente de determinação próximo à unidade ($r^2 = 0,9998$). Pôde-se concluir que os materiais e a metodologia utilizados possibilitaram instalar e calibrar adequadamente os lisímetros de pesagem, além de comprovar a grande precisão na obtenção de dados e a quantidade de informações geradas pelo sistema de forma automatizada.

Palavras-chave: lisímetro de pesagem, instalação, calibração, café.

CONSTRUCTION AND CALIBRATION OF TWO WEIGHING LYSIMETERS WITH COFFEE PLANTS IN LAVRAS, MG, BRAZIL

ABSTRACT: The objective of this work was to construct, install and calibrate two weighing lysimeters with load cells. The lysimeters were filled with blocks of undisturbed soil and an adult plant of coffee. One lysimeter was installed in protected environment and the other outside, on field. The box lysimeters had 1,5 x 1,5 x 1,0 m in width, length and height respectively, placed on a balance with levers of weight reduction and a load cell. A data acquisition system was connected to load cells to automate the process. The calibration proceeded with the addition and removal of bags with known mass quantity, converted into equivalent of water sheet. With the results, linear equations were generated of the values of equivalent in sheet of water (mm) in function of the voltage, in milivolts (mV), with coefficient of determination close to unity ($r^2 = 0.9998$). It can be concluded that the materials and methodology used enabled properly install and calibrate two weighing lysimeters with adult coffee plants, and demonstrate the high accuracy in obtaining data and the amount of information generated by the system in an automated manner.

Key words: weighing lysimeter, installation, calibration, coffee.

INTRODUÇÃO

Os lisímetros são grandes caixas cheias de solo, instaladas no campo e que apresentam a superfície nua ou coberta por uma vegetação. Podem ser utilizados para determinar a evaporação do solo quando nua, a evapotranspiração de referência (ET_o) quando cobertos por grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), e também a evapotranspiração da cultura (ET_c) quando cultivada no lisímetro a cultura de interesse.

Diversos formatos de lisímetros têm sido construídos, cada qual com base em um requerimento específico, que depende da cultura estudada, solo, clima, disponibilidade de materiais, tecnologia e, principalmente dos custos envolvidos na sua construção. Esses custos são determinados pelo tamanho, disponibilidade de material e pessoal qualificado para montagem do equipamento.

Atualmente o tipo mais usado de lisímetro é o de pesagem por células de carga. Existem células de carga que apresentam uma sensibilidade bastante elevada, capaz de registrar até a força de momento causada por uma simples brisa (Santiago, 2001), o que pode até representar um problema, aliado a outro fator importante que é a influência da variabilidade microclimática sobre as células de cargas (Allen; Fischer, 1991), pois estas, além de responder conforme a variação da massa do lisímetro, acusam também a influência de temperatura ambiente sobre elas e, conseqüentemente, podem apresentar um sinal errôneo, o que levou aqueles autores a alertarem, também, para os cuidados que devem ser levados em consideração no que tange à escala de estudo. Santiago (2001) sugere uma escala no mínimo horária ou maior para trabalhar e, segundo Bergamaschi et al. (1997), aumentando-se essa escala, pode-se suavizar as oscilações instantâneas provocadas pelas rajadas de ventos.

Segundo Campeche (2002), a calibração do lisímetro é uma das etapas mais importantes durante a implantação do equipamento, pois, calibrações mal feitas levam a interpretações inconsistentes dos valores de evapotranspiração, principalmente quando se trabalha em curtos períodos de tempo.

Muitos fatores podem interferir nos resultados obtidos pelos lisímetros, dentre os quais se destacam fatores externos como tráfego de pessoas próximas, tratos culturais, altura das plantas, efeito da advecção (efeito oásis), diferenças de densidade entre a vegetação de dentro e de fora do lisímetro, temperatura, ocorrência de ventos; e fatores intrínsecos ao lisímetro como dimensões, umidade do solo em seu interior, espessura de suas paredes e a distancia entre elas, altura de suas bordas, forma de preenchimento do lisímetro (reconstituição do solo em seu interior ou colocação de bloco de solo) (Aboukhaled, Alfaro, Smith, 1982; Miranda, Yoder, Souza, 1999; Azevedo et al., 2004; Quaglia, 2005; Carvalho et al., 2007).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho construir, instalar e calibrar dois lisímetros de pesagem constituídos de células de carga, os quais foram preenchidos com blocos de solo indeformados e uma planta de café adulta.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma lavoura de café (*Coffea arabica* L.) cultivar Acaia Cerrado com três anos de receita, na área experimental do Departamento de Engenharia, no campus da Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, MG (latitude: 21° 14' S, longitude: 45° 00' W e altitude: 918,8 m), cujo solo é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico típico, de relevo suave ondulado. Algumas de suas características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise química e granulométrica do solo para um Latossolo Vermelho Distrófico típico, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Lavras, MG.

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRA (0 a 20cm)
pH	Em água (1 :2,5)	—	5,4
P	Fósforo (Mehlich)	mg/dm ³	41,1
K	Potássio	mg/dm ³	86
Ca	Cálcio	Cmol/dm ³	3,4
Mg	Magnésio	Cmol/dm ³	1,1
Al	Alumínio	Cmol/dm ³	0,1
H+Al	Ac.potencial	Cmol/dm ³	5,6
SB	Soma de bases	Cmol/dm ³	4,7
(t)	CTC efetiva	Cmol/dm ³	4,8
(T)	CTC a ph 7.0	Cmol/dm ³	10,3
V	Sat. Bases	%	45,7
m	Sat alumínio	%	2
MO	Mat. Orgânica	dag/kg	3,3
P - rem	Fósf. Remanescente	mg/L	12,5
Areia		dag/kg	15
Silte		dag/kg	11
Argila		dag/kg	74
Textura		-----	M. argiloso

Foram construídos dois lisímetros de pesagem dotados de células de carga, sendo um fora e outro dentro de ambiente protegido (estufa). A estufa utilizada é de modelo arco, de 60,0 m de comprimento por 8,0 m de largura, e pé

direito igual a 3,5 m, sendo coberta com filme plástico de polietileno de 150 micras de espessura, nas laterais foram instaladas telas anti-afídeos.

Montagem e Preenchimento dos Lisímetros

Os dois lisímetros foram construídos utilizando-se chapas de aço de 6,0 mm de espessura soldadas umas nas outras. Cada lisímetro possuía as seguintes dimensões internas: 1,5 x 1,5 x 1,0 m de largura, comprimento e altura, respectivamente. As laterais superiores das caixas lisimétricas foram revestidas com chapa tipo cantoneira com 9,0 cm de aba. O preenchimento dos lisímetros foi feito com um bloco de solo indeformado composto por uma planta de café.

Para retirada da planta com o solo indeformado, uma retroescavadeira abriu quatro valetas de 1,0 m de profundidade ao redor da planta e a 0,75 m do tronco formando um bloco de solo de 1,5 m de largura, 1,5 m de comprimento e 1,0 m de altura. A caixa metálica (sem a chapa do fundo) foi erguida e colocada por cima da planta (vestindo-a). Em um dos lados do bloco de solo retirou-se toda a terra existente e o “braço” da retroescavadeira introduziu a chapa de aço do fundo da caixa metálica por meio de uma guia em formato de “U” existente nas laterais internas da caixa lisimétrica (Figura 1a e 1b).

As caixas lisimétricas, contendo o bloco de solo e a planta de café foram içadas por meio de um guindaste e colocadas dentro de construções retangulares de alvenaria de 1,7 m de largura, 2,0 m de comprimento e 1,8 m de profundidade, onde no seu interior já havia sido instalada uma balança de fabricação comercial (Balanças Açores, Cambé, PR). A balança é constituída, na parte superior, por um quadro metálico em viga “I” laminada de 0,1 m, do mesmo comprimento e largura da caixa e, na parte inferior, por um conjunto de transmissão de forças composto de quatro conjuntos oscilantes, ligados a um mecanismo de três alavancas metálicas de redução de massa, apoiadas em cinco suportes de apoio, colocados sobre fundações de concreto armado de 0,1 m de espessura. Interligada à balança estava uma célula de carga modelo SV100kgf fabricado pela empresa Alfa Instrumentos.

Um sistema de aquisição de dados, composto por um multiplexador de canais diferenciais (AM 416 Relay Multiplexer, Campbell Sci., Logan – USA) e um datalogger (CR10X Campbell Sci., Logan – USA), foi instalado para receber os sinais elétricos das células de carga.

Os dois lisímetros não foram dotados de sistema de coleta de drenagem, uma vez que, pelo modo de montagem utilizado, seria muito difícil vedar todo o fundo das caixas metálicas. Para o lisímetro abrigado em ambiente protegido, não haveria problemas com excesso de água, assim o outro lisímetro (a céu aberto), optou-se por fazer uma cobertura do solo do lisímetro de maneira a impedir a entrada de água no sistema através de chuvas, sem cobrir a planta de café e sem interferir no funcionamento do lisímetro (Figura 1).



Figura 1. As imagens (a) e (b) ilustram o processo de construção dos lisímetros; o lisímetro de dentro da estufa está apresentado em (c) e (d); e o lisímetro de fora do ambiente protegido em (e) e (f).

Calibração dos Lisímetros

A calibração dos lisímetros foi feita no dia 23 de junho de 2008 utilizando-se 30 sacos de brita nº 1 com 4,5 kg, pesados com balança de precisão de 0,01 g. Sabendo-se que a área superficial do lisímetro é de 2,25 m², pode-se inferir que a adição de 4,5 kg sobre o lisímetro equivale à adição de uma lâmina de água de 2,0 mm.

Ao redor do lisímetro foi colocada uma proteção plástica de 1,8 m de altura para evitar uma possível oscilação do conjunto devido ao efeito do vento.

Iniciou-se o ensaio com a obtenção da leitura de voltagem, em milivolts (mV), em cada lisímetro descarregado (sem nenhuma massa extra). A seguir, a variação de voltagem foi obtida com a adição em seqüência de cargas de massa equivalente a 2,0 mm de água sobre a superfície do lisímetro. Após cada acréscimo de massa aguardava-se 10 segundos e fazia-se a leitura de voltagem. Posteriormente, o mesmo procedimento foi realizado retirando-se sequencialmente as cargas que estavam sobre a superfície do lisímetro.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística de regressão pelo programa SISVAR 4.6 e com o auxílio do programa Microsoft Excel, foram gerados os gráficos de regressão linear com seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) e equações características.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram submetidos a análise de regressão obtendo-se as seguintes relações $y = 1204x - 1442$ e $y = 1163x - 1477$, para os lisímetros de dentro e de fora da estufa, respectivamente. Sendo que y é o valor equivalente em lâmina de água (mm) e x é a leitura (mV). O coeficiente de determinação (r^2) para ambos os casos foi de 0,9998 (Figura 2).

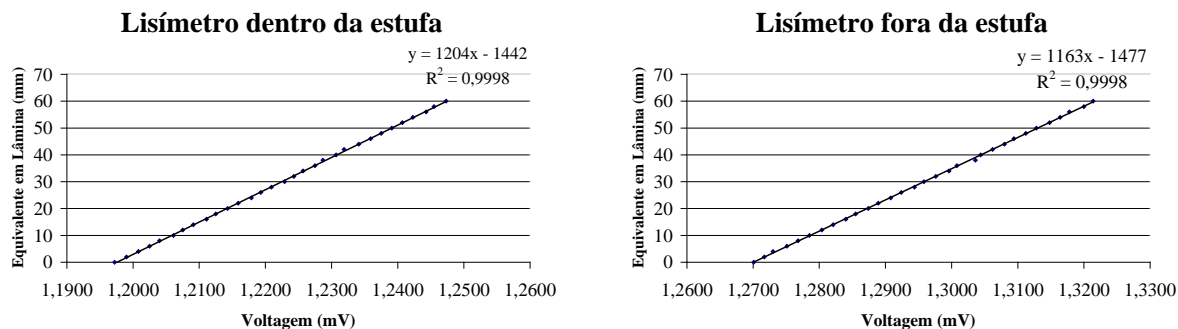


Figura 2. Gráficos de regressão linear com seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) e equações características para os dois lisímetros dentro e fora de ambiente protegido (estufas).

Observa-se uma ótima correlação entre as variáveis equivalente em lâmina (mm) e voltagem (mV), pois o coeficiente de determinação ficou próximo à unidade. A variação ocorrida entre os parâmetros das equações para os dois lisímetros pode ser explicada pelo fato das massas dos sistemas serem diferentes, ou seja, os blocos de solo utilizados para o preenchimento de cada caixa lisimétrica têm massa um pouco diferentes, e também pelas variações existentes entre os sistemas de balança e célula de carga de cada conjunto. Estes resultados corroboram com os trabalhos de Allen e Fischer (1991) e Faria; Campeche e Chibana (2006) utilizando metodologias semelhantes.

O acompanhamento dos dados gerados pelos lisímetros de pesagem durante um dia estão apresentados na Figura 3. Pode-se observar que a lâmina de água permanece inalterada durante as primeiras horas do dia até o sistema começar a perder carga (perda de água) através da evapotranspiração. Entre as 15:00 e 16:00 horas foram adicionadas por irrigação lâminas de água de 8,0 mm no lisímetro de dentro e 9,0 mm no de fora. Pode-se, ainda, verificar que, no lisímetro de fora a irrigação foi suficiente para retornar a lâmina de água ao nível anterior às perdas ocorridas, ou seja, a irrigação foi igual à evapotranspiração naquele período. Enquanto que, no lisímetro de dentro, a irrigação superou a evapotranspiração, elevando o nível da lâmina de água no período.

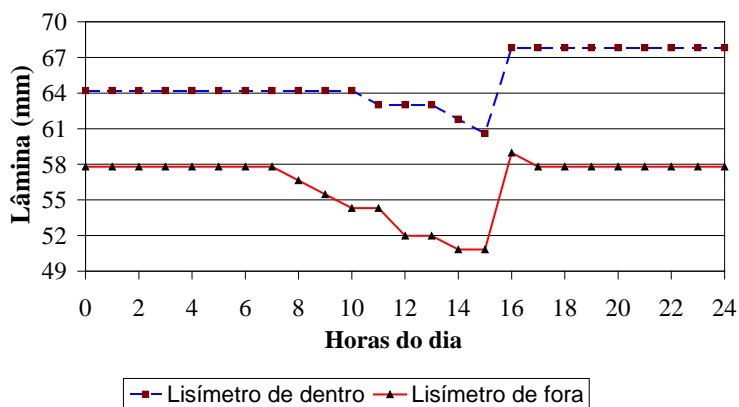


Figura 3. Variação da lâmina de água nos lisímetros de dentro e de fora do ambiente protegido durante um dia.

Custos

O custo de instalação para cada lisímetro de pesagem foi de R\$19.500,00, totalizando R\$39.000,00 para os dois conjuntos. Sendo que, R\$30.000,00 corresponderam ao custo dos sistemas de balanças e das células de carga; R\$4.000,00 para os materiais e mão de obra na confecção das caixas metálicas; R\$3.000,00 de despesas com assistência técnica especializada na instalação do sistema de pesagem; R\$1.500,00 com serviço de guincho e retro escavadeira; e R\$500,00 na construção das caixas de alvenaria.

CONCLUSÕES

Com os materiais e com a metodologia utilizados foi possível instalar e calibrar dois lisímetros de pesagem com plantas de café adultas, obtendo-se equações lineares com coeficiente de determinação próximo à unidade ($r^2 = 0,9998$).

Os lisímetros de pesagem são ferramentas importantes nos estudos de evapotranspiração e outros, haja visto sua acurácia na obtenção de dados e a quantidade de informações geradas pelo sistema de forma automatizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ALLEN, R. G.; FISCHER, D. K. Direct load cell-based weighing lysimeter system. In: ALLEN, R. G.; HOWWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.). **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 114-124.
- AZEVEDO, B. M. et al. Calibração em campo de um lisímetro de pesagem. **Revista de Ciências Agrárias**. Belém, PA, n. 42, p. 73-83, jul./dez. 2004.
- BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; SANTOS, A. O. et al. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, SP, 1997. **Anais**. p. 222-224.
- 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.)**. Piracicaba, SP, 2002. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- CARVALHO, D. F. et al. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de Pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.27, n.2, p.363-372, maio/ago. 2007.
- FARIA, R. T.; CAMPECHE, L. F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 237–242, 2006.
- QUAGLIA, L. **Calibração de um lisímetro de pesagem para monitoramento da evaporação do solo sem cobertura vegetal**. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, SP, 2005. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUZA, F. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 3, n.1, p. 107-110, 1999. (Comunicado Técnico).
- SANTIAGO, A. V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial**. Piracicaba, SP, 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.