

INSTALAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM LISÍMETRO DE PRECISÃO COM UMA CÉLULA DE CARGA

CARLOS NEWDMAR VIEIRA FERNANDES¹; BENITO MOREIRA DE AZEVEDO²; THALES VINÍCIUS DE ARAÚJO VIANA³; GUILHERME VIEIRA DO BOMFIM⁴ e JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA⁴

¹Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza – CE, newdmr@yahoo.com.br

²Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza – CE, Fone (85) 3366 9757, benitoazevedo@hotmail.com

³Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza - CE, thales@ufc.br

⁴Doutorando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza – CE, guile01@ig.com.br.; agronobruno@gmail.com.

1 RESUMO

Objetivou-se nesse trabalho instalar e calibrar um lisímetro de precisão com uma célula de carga, em Fortaleza, Ceará, através da aplicação de regressão linear nos valores obtidos com o acréscimo e a retirada de massas-padrões do equipamento, e comparar os resultados obtidos por duas séries de massas diferentes utilizadas no processo de calibração. O lisímetro constitui-se de dois tanques de chapas de aço carbono com área de exposição quadrada, sendo um interno com 1,20 m de lado e 1,00 m de profundidade e outro externo, com lado de 1,33 m e 1,40 m de profundidade. O tanque interno se apoiava sobre um mecanismo de transmissão de peso com a finalidade de concentrar toda a sua massa sobre uma célula de carga localizada no centro do sistema. As séries de massas utilizadas foram compostas por 0,25 kg; 0,50 kg; 1,00 kg; 2,00 kg e 4,00 kg, para a série 01 e 1,00 kg; 2,00 kg; 4,00 kg; 6,00 kg e 8,00 kg, para a série 02, sendo cinco unidades para cada massa-padrão. A melhor equação ajustada em todas as situações apresentou coeficientes de determinação (R^2) de 0,992 e 0,988 para a primeira série e 0,997 e 0,998 para a segunda série, respectivamente, para adição e subtração de massa. Na comparação dos desempenhos das duas séries de massas através do índice “c”, todas as situações apresentaram desempenho ótimo. O equipamento instalado pode ser utilizado com precisão na medida da ETo.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração, Eto, Calibração.

FERNANDES, C. N. V.; AZEVEDO, B. M. de; VIANA, T. V. de A.; BOMFIM, G. V. de; MESQUITA, J. B. de

LYSIMETER PRECISION OF LOAD CELL INSTALLATION AND CALIBRATION

2 ABSTRACT

The objective of this study was to install and calibrate a precision lysimeter with a load cell, in Fortaleza, Ceará. The lysimeter was calibrated by applying linear regression to the values obtained with the addition of mass standards to the equipment (and their removal from it),

then comparing the results obtained by two different mass series. The lysimeter consists of two tanks of carbon steel plates with square bases, an internal tank with side of 1.20 m and 1.00 m deep and one external tank, with side of 1.33 m and 1.40 m deep. The inner tank is supported on a weight transmission mechanism in order to concentrate all its mass on a load cell located at the center of the system. The mass series used were (series 01): 0.25 kg, 0.50 kg, 1.00 kg, 2.00 kg and 4.00 kg, and (series 02): 1.00 kg, 2.00 kg, 4.00 kg, 6.00 kg and 8.00 kg, and five units for each standard mass. The linear regression achieved the best equation fit in all situations, with determination coefficients (R²) of 0.992 and 0.988 for the first series and 0.997 and 0.998 for the second series, respectively, for addition and subtraction of mass. Comparing the performances of the two mass series through the index "c", all cases showed a great performance. Thus, the referred equipment can be used to accurately measure the ETo and the CET.

KEYWORDS: Evapotranspiration, Eto, Calibration.

3 INTRODUÇÃO

No Ceará, assim como em toda a região Nordeste do Brasil, as condições climáticas são caracterizadas por altas temperaturas e precipitações escassas e irregulares, o que contribui substancialmente para a ocorrência de déficits hídricos praticamente o ano todo. Essa realidade aponta para a importância da adoção da prática de irrigação objetivando uma menor dependência das condições climáticas e aumentando as chances de obter uma colheita mais rentável (BONFIM, 2003). Para que se possa alcançar sucesso na adoção dessa prática, é essencial que se tenha um correto manejo buscando suprir a necessidade hídrica da cultura na medida certa, sem déficit, nem excesso. Para isso a aquisição de dados confiáveis de evapotranspiração, torna-se essencial (MENDONÇA, et al., 2007; SANTOS, et al., 2008).

Bezerra, Silva e Ferreira, (2008) destacam ainda a importância do conhecimento da evapotranspiração das culturas e da vegetação em geral como fundamental em atividades ligadas a gestão de bacias hidrográficas e em modelagens meteorológica e hidrológica.

O termo evapotranspiração (ET) é empregado para designar o processo de evaporação e transpiração ocorrendo simultaneamente (ROCHA, et al., 2011). A evapotranspiração é afetada por fatores que se dividem em fatores meteorológicos, da planta e do solo. Para Azevedo (1999), os principais fatores meteorológicos são o balanço de energia, a tensão de vapor d'água na superfície evaporante, a temperatura do ar e o vento. Dentre os aspectos da planta destacam-se o sistema radicular, a área foliar, os estômatos, o poder refletor e altura. Os fatores do solo estão relacionados com as características físicas e de manejo e com a rugosidade da superfície (CHAVES, et al., 2005; SANTOS, 2009).

Devido à grande diversidade dos fatores que influenciam o processo de evapotranspiração, é de grande importância que a sua estimativa seja feita de maneira precisa (BOMFIM et al., 2004).

A medida direta da evapotranspiração é um parâmetro de difícil mensuração, uma vez que na sua determinação é exigido dispositivo específico, o lisímetro de pesagem (ALLEN et al., 1998). A utilização de lisímetros de pesagem tem sido classificada como ferramenta padrão em estudos de "perda" de água das culturas (CAMPECHE, 2002). Rocha, Guerra e Azevedo (2003) destacam os lisímetros de pesagem como o método mais preciso na determinação da evapotranspiração.

Os lisímetros de precisão apresentam custos elevados, tendo ficado restrito a instituições de pesquisas, com utilização justificada na calibração regional de métodos indiretos (MENDONÇA et al., 2003). No entanto, a modernização e desenvolvimento das tecnologias de pesagem e de armazenamento de dados tornaram mais simples a construção de lisímetros, com boa precisão e a custos relativamente mais reduzidos (BOMFIM, 2003).

O recente desenvolvimento da eletrônica vem disponibilizando sensores mais precisos, robustos e baratos, incluindo-se as células de carga, as quais podem ser usadas na construção de lisímetros de pesagem de alta precisão (FARIA; CAMPECHE; CHIBANA, 2006).

A calibração do lisímetro consiste em uma das mais importantes etapas realizadas durante a implantação do equipamento, uma vez que a má calibração do aparelho leva a interpretações inconsistentes dos valores de evapotranspiração (CAMPECHE, 2002; CARVALHO et al., 2007).

Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo, instalar e calibrar um lisímetro de precisão com uma célula de carga, bem como, avaliar os resultados obtidos por duas séries de massas diferentes utilizadas no processo de calibração.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O lisímetro foi instalado na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, cujas coordenadas geográficas são: 3°44' S, 38°33' W e 19,5 m de altitude.

Para a instalação do lisímetro, procedeu-se a escavação do local de forma manual tomando-se o cuidado de separar o solo em camadas de 0,20 m até a profundidade de 1,40 m, igual à profundidade da caixa metálica externa. As camadas de solo foram acondicionadas ao lado do local de onde se realizou a escavação. Essa metodologia utilizada na escavação do solo é necessária para que a reconstituição das condições iniciais do solo seja realizada de forma a manter a mesma sequência do perfil original.

O lisímetro em questão (Figura 1) foi confeccionado com dois tanques de aço carbono, um interno, de dimensões 1,20 m x 1,20 m de base e 1,00 m de profundidade, e outro, externo, de dimensões 1,33 m x 1,33 m de base e 1,40 m de profundidade. O equipamento possui um mecanismo de apoio e transmissão de peso, que foi construído com a finalidade de concentrar todo o peso sobre uma única célula de carga e possibilitando a mesma suportar cargas superiores a uma tonelada, esse mecanismo torna-se muito importante, devido à possibilidade de uso de apenas uma célula de carga, proporcionando a redução dos custos de confecção do lisímetro.

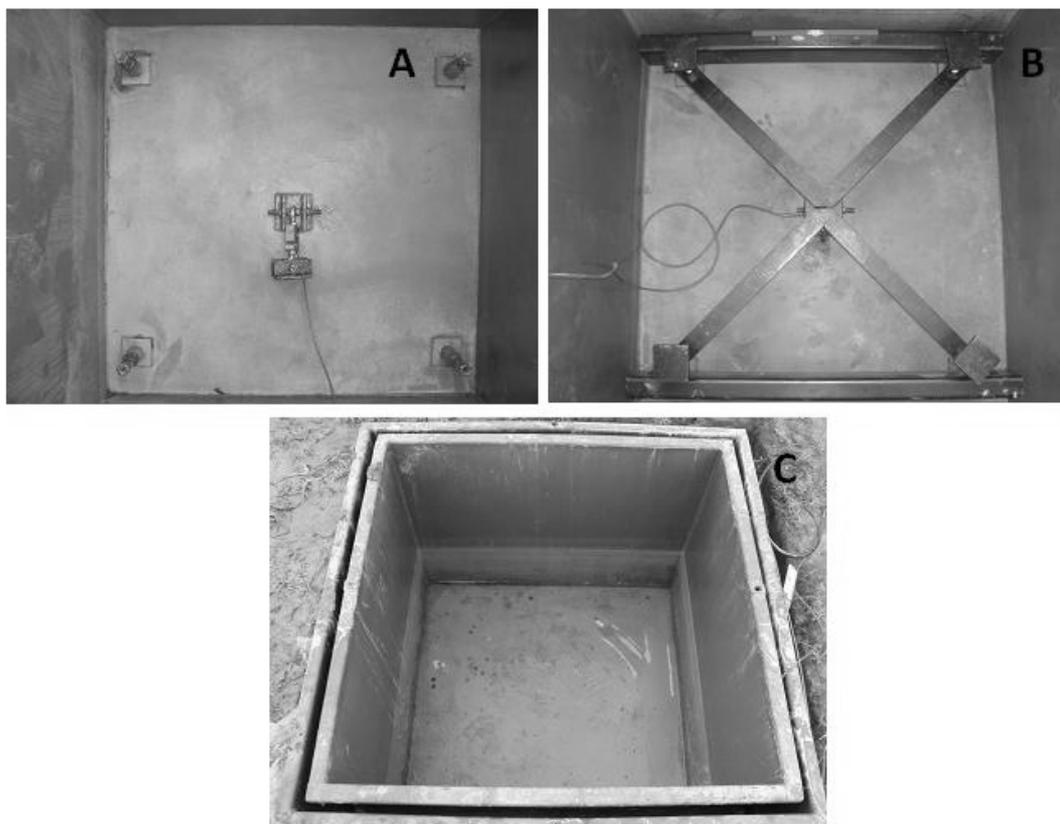


Figura 2. Detalhes do lisímetro de pesagem, (A) fundo da caixa externa com os quatro pinos reguláveis nos cantos e a célula de carga no centro, (B) Sistema de apoio e transmissão de peso instalado no fundo da caixa externa, (C) Caixa interna instalada no interior da caixa externa, sobre o sistema de distribuição de peso, Fortaleza, Ceará, 2010.

Com o objetivo de retirar qualquer excesso de água do interior do lisímetro, no fundo do tanque interno, foi feita a instalação de um sistema de drenagem construído de canos PVC, de 75 mm de diâmetro, perfurados e envolvidos por uma manta de tecido permeável. Sobre o dreno, foi depositada uma fina camada de brita de 10 cm de espessura, o suficiente para a cobertura total das tubulações. Para que o solo não se misturasse com a brita, facilitando, assim, a drenagem de água dentro do sistema, a camada de brita foi coberta por uma manta permeável idêntica a utilizada para envolver as tubulações de drenagem.

A partir da manta colocada sobre a camada de brita, preencheu-se o lisímetro com as camadas retiradas e separadas na ocasião da escavação. Uma vez que a caixa interna do lisímetro apresentava apenas 1,00 m de profundidade, das sete camadas retiradas, a sétima e a sexta foram totalmente descartadas, em função da escavação ter sido realizada até uma profundidade de 1,40 m.

Com a deposição da camada de brita dentro da caixa interna, restaram 90 cm para serem preenchidos com solo, assim metade do solo da camada cinco foi descartada, sendo utilizado apenas o suficiente para depositar uma camada de 10 cm dentro do lisímetro. Os 80 cm restantes do equipamento foram preenchidos com o solo das camadas quatro, três, dois e um, sendo 20 cm para cada camada. Para uma melhor acomodação do solo dentro do recipiente metálico a cada camada completada, era feita uma leve compactação.

Foi utilizado um datalogger, (modelo CR10X Campbell Scientific), para a coleta dos dados provenientes da célula de carga, e um módulo de memória (Storage Module, modelo

SM4M), acoplado a um display (CR10KD Campbell Scientific), para o armazenamento dos dados coletados, e posterior transferência para um microcomputador.

A célula de carga utilizada foi a do modelo Z 1T da ALFA Instrumentos com sensibilidade de 2 mV V-1 ou 6.000 divisões, conforme a portaria 226-INMETRO (representando 0,16 kg de sensibilidade), a mesma teve seus cabos prolongados para que pudesse ser instalada na profundidade desejada.

Para a realização da calibração lisimétrica, foram confeccionadas massas-padrões, aferidas em uma balança eletrônica (Toledo, modelo Adventurer) com sensibilidade de 0,01 g. Foram preparados e organizados 50 sacos plásticos com areia (massas-padrões) em duas séries, sendo uma composta por 0,25 kg; 0,50 kg; 1,00 kg; 2,00 kg e 4,00 kg (5 unidades para cada massa-padrão), totalizando um valor correspondente a 38,75 kg. A outra série foi composta por 1,00 kg; 2,00 kg; 4,00 kg; 6,00 kg e 8,00 kg (5 unidades para cada massa-padrão), totalizando 105,00 kg ao final.

Antes da calibração, com o auxílio de uma bomba (1/2 cv), procedeu-se a drenagem do excesso de água contida dentro do lisímetro. Também foi providenciada a cobertura de toda a superfície do lisímetro, com auxílio de uma lona, de modo a evitar, ao máximo, a incidência direta da radiação solar, para reduzir o processo de evaporação (EV).

O sistema de aquisição de dados foi programado para realizar a leitura dos dados lisimétricos a cada 10 segundos e sua média a cada 2 minutos. Assim, os dados registrados no módulo de memória correspondiam a uma média de 12 medidas realizadas em 02 minutos de leitura de dados.

O processo de calibração lisimétrica se deu, primeiramente, por meio da adição unitária e sucessiva de massa-padrão sobre a superfície do lisímetro, realizada a cada dois minutos. Para a série 01 a primeira massa-padrão adicionada (0,25 kg) representa uma lâmina mínima de água de 0,173 mm enquanto que a última (4,00 kg) exprime uma lâmina de 2,77 mm, sendo o total de massas adicionadas correspondente a uma lâmina máxima de 26,90 mm. Já com relação a série 02 a primeira massa-padrão adicionada (1,00 kg) traduz uma lâmina mínima de 0,69 mm e a última (8,00 kg), uma lâmina de 5,55 mm, totalizando ao final da adição das massas-padrões uma lâmina de 72,91 mm. Essa série foi adotada no sentido de testar a sensibilidade de maiores magnitudes.

A cada massa adicionada, um sinal elétrico (mV), proveniente da célula de carga, era registrado no datalogger. Após a aplicação de todos os sacos plásticos (massas-padrões), realizou-se o processo inverso, através da subtração das referidas massas, no mesmo intervalo de tempo e em ordem decrescente de peso até a completa retirada daquelas adicionadas ao equipamento no processo anteriormente descrito.

No momento da calibração foi feita a coleta de dados meteorológicos (radiação, umidade, vento e temperatura) provenientes da estação Meteorológica situada em uma área ao lado do local de instalação do lisímetro.

Os dados obtidos no processo de calibração do lisímetro de pesagem foram submetidos a análises estatísticas de regressão utilizando a planilha eletrônica do software Microsoft Office Excel 2007[®] para construir os gráficos de dispersão e analisar diferentes modelos de regressão no intuito de determinar aquele que melhor representa a relação entre variação das leituras lisimétricas em função da variação de massas-padrões. Após as análises, foi selecionado o modelo de melhor ajuste, com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

A avaliação dos dados foi fundamentada na comparação entre os resultados obtidos com a adição e com a subtração das massas-padrões empregadas, assim como na comparação entre as duas séries de massas utilizadas na calibração, correlacionando-se as massas reais

com as massas estimadas através da equação encontrada pela regressão. Para isso, fez-se uso de uma regressão linear, considerando-se os indicadores estatísticos coeficiente de correlação “r”, índice de Willmott “id” e índice “c”. O coeficiente de correlação indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório, seus valores variam de -1 a 1 sendo que quanto mais próximo da unidade maior é a correlação entre os dados analisados.

O índice de concordância de Willmott et al. (1985) está relacionado ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, variando de zero para nenhuma concordância a 1 para a concordância perfeita, sendo determinado por:

$$id = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum [(P_i - \bar{O}) + (O_i - \bar{O})]^2} \quad (1)$$

Em que:

P_i - valor estimado;

O_i - valor observado;

\bar{O} - média dos valores observados.

O índice de confiança e desempenho, índice “c”, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), é calculado reunindo os índices de correlação “r” e Willmott “id”, por:

$$c = r \times id \quad (2)$$

Pelo valor de “c” são possíveis sete níveis de desempenho, como estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Critério de interpretação de desempenho pelo índice “c”, proposto por Allen (1998)

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,41	Péssimo

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos no momento da calibração realizada pelo uso da série 01 foram os seguintes: temperatura 30,34 °C, umidade 76 %, radiação líquida 309,7 W.m⁻² e velocidade do vento 1,69 m.s⁻¹.

Nas Figuras 3 e 4 estão apresentados os gráficos com os valores de saída da célula de carga (mV) e o equivalente em peso adicionado e retirado respectivamente, para a primeira série utilizada. Observa-se que as respostas, tanto na adição quanto na subtração das massas-padrões, foram semelhantes, sendo as mesmas adequadamente descritas pela regressão linear, com efeito significativo (P < 0,01) e coeficientes de determinação (R²) de: 0,992 e 0,988, respectivamente. Isso indica uma estreita relação entre a variação na quantidade de massa

adicionada e retirada do equipamento e a variação da voltagem na célula de carga. Em suma, 99,2% e 98,7% da variação das leituras lisimétricas podem ser explicadas pelas respectivas adição/subtração das massas-padrões e apenas 0,8% e 1,3%, devido ao acaso. Pelos resultados evidenciados, pode-se afirmar que a resposta do lisímetro, em ambas as situações, foi linear.

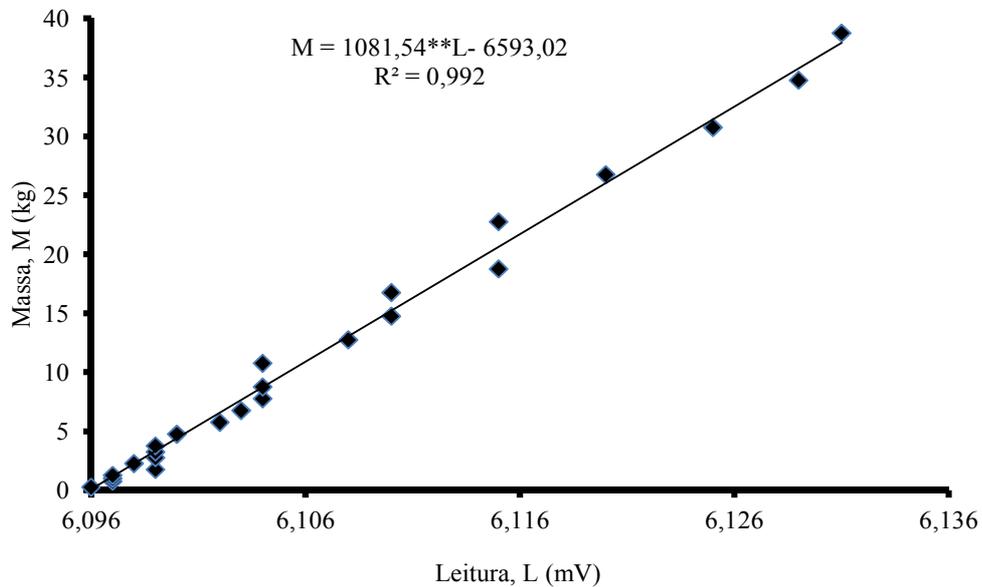


Figura 3 . Gráfico de ajuste dos dados obtidos da calibração de um lisímetro de pesagem por meio de adição de massas-padrões da série 01, Fortaleza, Ceará, 2010.

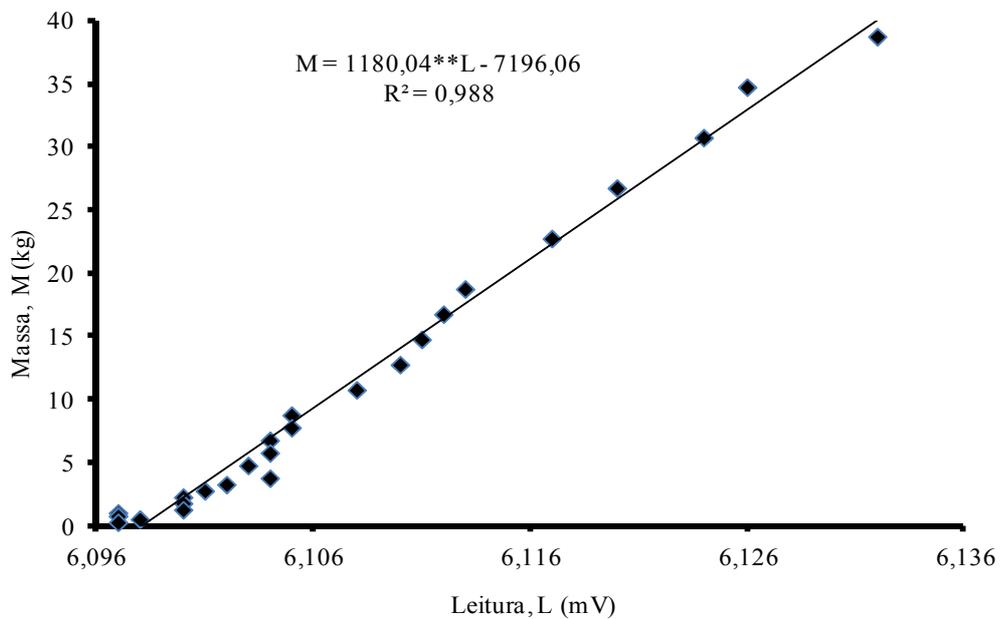


Figura 4. Gráfico de ajuste dos dados obtidos da calibração de um lisímetro de pesagem por meio de subtração de massas-padrões da série 01, Fortaleza, Ceará, 2010.

Os dados meteorológicos no momento da calibração realizada pelo uso da série 02 foram os seguintes: temperatura 31,74 °C, umidade 64,17 %, radiação líquida 660,8 W.m⁻² e velocidade do vento 2,85 m.s⁻¹.

Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar os valores de saída da célula de carga (mV) e o equivalente em massa adicionada/subtraída para a segunda série de massas-padrões. Como na primeira série, observa-se respostas semelhantes, tanto na adição quanto na subtração das massas-padrões, sendo as mesmas adequadamente descritas pela regressão linear, com efeito significativo ($P < 0,01$) e coeficientes de determinação (R^2) de: 0,997 e 0,998, respectivamente. Da mesma forma que na primeira série, os valores de R^2 indicam uma estreita relação entre a variação na quantidade de massa adicionada e retirada ao equipamento e a variação da voltagem na célula de carga.

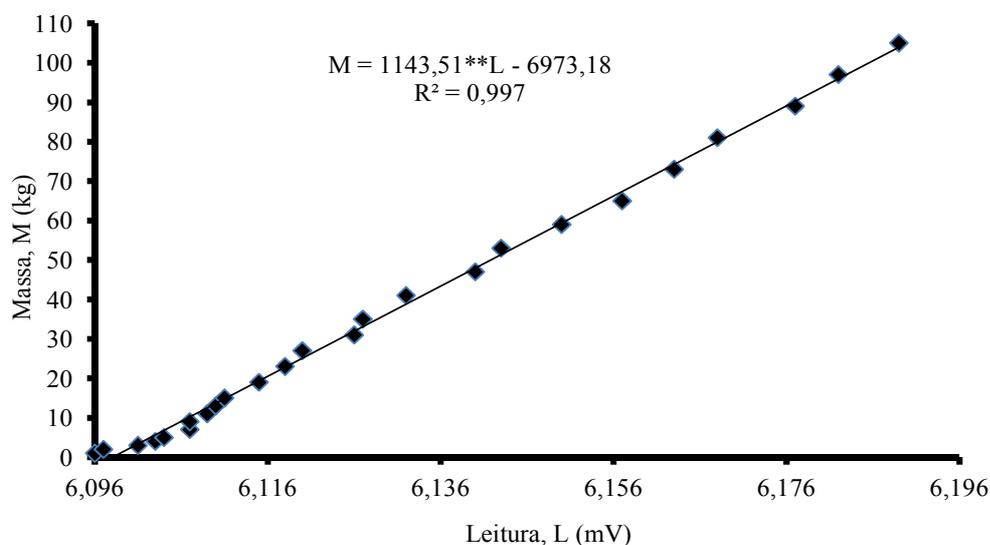


Figura 5. Gráfico de ajuste dos dados obtidos da calibração de um lisímetro de pesagem por meio de adição de massas-padrões da série 02, Fortaleza, Ceará, 2010.

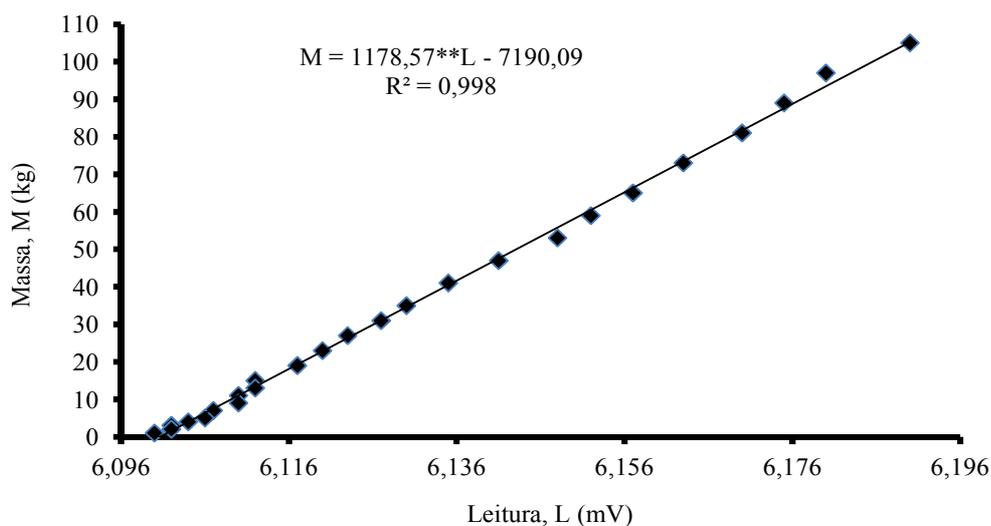


Figura 6. Gráfico de ajuste dos dados obtidos da calibração de um lisímetro de pesagem por meio de subtração de massas-padrões da série 02, Fortaleza, Ceará, 2010.

Para ambos os casos (adição/subtração), cerca de 99,85 da variação da leitura lisimétrica ocorreu em função da variação das massas-padrões, enquanto que somente 0,2% dessa variação foi devido ao acaso.

O erro-padrão da estimativa da regressão linear para as massas adicionadas na série 01 foi de 1,05 kg, o que equivale a uma lâmina de 0,72 mm, já para as massas subtraídas, o erro-padrão foi ligeiramente superior, sendo 1,30 kg, ou seja, 0,9 mm de água. Com relação à série 02 para a adição de massas-padrões, o erro-padrão da estimativa da regressão linear foi de 1,75 kg, representando uma lâmina de 1,21 mm de água, enquanto que para a subtração, o erro-padrão foi de 1,35 kg, estando esse valor em torno de 0,93 mm de água. Verifica-se que ambos os erros-padrões estão acima da sensibilidade da célula de carga fornecida pelo fabricante (0,16 kg). Miranda, Yoder e Souza (1999), encontraram um valor semelhante para o erro-padrão de estimativa da regressão linear obtida pela calibração de um lisímetro de pesagem em Curu-Paraipaba, Ceará, sendo o erro de 1,32 kg, correspondente a uma lâmina de 0,6 mm.

Os erros de estimativa observados para as duas séries de massas mostram que o lisímetro instalado e calibrado não apresenta precisão para operação em escala de tempo reduzida, o que corrobora com Pereira et al. (2002) ao concluírem que medidas de evapotranspiração em intervalos inferiores a 60 minutos nem sempre são tão exatas o quanto se espera de um sistema tido como padrão. Segundo Vescove e Turco (2005), o erro, devido ao uso inadequado de instrumentos de medidas, em geral, conduz ao manejo inadequado da água, afetando muitas vezes a produção agrícola.

Pelos resultados obtidos, nota-se que houve semelhança entre as duas séries de massas utilizadas. No entanto, Bezerra et al. (2010) ressaltam que um requisito fundamental para adoção de manejo da irrigação, assim como do seu desempenho, é a determinação diária da evapotranspiração (ET) das culturas, assim a calibração realizada por meio da adição de massas da primeira série (0,25 a 4,00 kg) pode ser considerada como a mais apta para o exercício do manejo da irrigação, uma vez que a mesma apresentou o menor erro de estimativa da ET.

As respostas encontradas para as duas séries de massas-padrões empregadas nos testes de calibração foram semelhantes às encontradas por Carvalho et al. (2007) que, ao calibrarem um lisímetro de pesagem com uma célula de carga em Seropédica, Rio de Janeiro, encontraram respostas lineares tanto para adição quanto para subtração de massas, e obtendo coeficientes de correlação próximos da unidade. Bomfim et al. (2004), também encontraram uma resposta linear ao calibrarem um lisímetro de pesagem após dois anos de uso em Limoeiro de Norte, Ceará, onde os coeficientes de determinação (R^2) obtidos foram 0,9988 e 0,9993, respectivamente para adição e subtração de massas.

A precisão encontrada para as duas séries assim como para adição/subtração de massa na calibração do lisímetro se assemelham muito com as obtidas por Silva (2005) e Santos et al. (2007) ao construírem um lisímetro de pesagem com células de carga hidráulica, e Campeche (2002) que construiu um lisímetro com células de carga eletrônicas no sistema de pesagem.

Na comparação entre os diferentes procedimentos, adição e subtração de massas-padrões de 0,25 a 4,00 kg, os valores encontrados para o índice “c” de desempenho estão expressos na Tabela 2, onde se pode observar que ambos os procedimentos apresentaram desempenho: “Ótimo”, o que implica em um excelente ajuste para os dois casos analisados.

Tabela 2. Desempenho da adição e subtração de massas-padrões, segundo o índice “c”, para a série de 0,25 a 4,00 kg

Procedimento	Índice “c”	Desempenho
Adição de massas	0,994	Ótimo
Subtração de massas	0,990	Ótimo

Para a série de massas de 1,00 a 8,00 kg, os valores do índice “c” encontrados com adição e subtração das massas estão presentes na Tabela 3. Observa-se que o desempenho também foi “Ótimo” para as duas situações, o que mostra um excelente ajuste para ambos os casos.

Tabela 3. Desempenho da adição e subtração de massas-padrões, segundo o índice “c”, para a série de 1,00 a 8,00 kg

Procedimento	Índice “c”	Desempenho
Adição de massas	0,998	Ótimo
Subtração de massas	0,998	Ótimo

Os valores de índice “c” encontrados para as duas séries de massas utilizadas, presentes nas Tabelas 2 e 3, indicam que ambas as séries apresentaram excelente desempenho, o que resulta em uma semelhança de ajuste entre as duas calibrações, tendo sido indiferente a adição ou subtração de massa, assim como o emprego de série de massas-padrões de diferentes magnitudes.

6 CONCLUSÕES

A calibração de um lisímetro de pesagem, em condições de campo, pode ser realizada com a adição ou com a subtração de massas-padrões, fazendo-se uso de qualquer das duas séries de massas utilizadas nesse experimento.

O equipamento lisimétrico construído, instalado e calibrado neste ensaio pode ser utilizado com precisão na medida da evapotranspiração de referência (ET_o).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 290p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AZEVEDO, B. M. de. **Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos**. 1999. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Pau, Piracicaba.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, J. R.C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, 404 - 414, 2010.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens Digitais TM – Landsat. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BOMFIM, G. V. do. **Calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Jaguaribe-Apodi em Limoeiro do Norte-Ceará**. 2003. 38 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BOMFIM, G. V. do; AZEVEDO, B. M. de; VIANA, T. V. de A.; BORGES, R. L. M.; OLIVEIRA, J. J. G. Calibração de um lisímetro de pesagem após dois anos de utilização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, Número Especial, p. 284-290, 2004.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPECHE, L. F. de 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. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2007.

CHAVES, S. W. P.; AZEVEDO, B. M. de; MEDEIROS, J. F. de; BEZERRA, F. M. L.; MORAIS, N. B. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 3, p. 262 – 267, 2005.

FARIA, R. T. de; CAMPECHE, F. de S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A.L.; GOTTARDO, R.D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes - RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.471-475, 2007.

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**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MIRANDA, F. R.; YODER R. E.; SANTOS, F. J. S. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba-CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 107-110, 1999.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, 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. 51-56, 2002.

ROCHA, E. da J. T.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK JÚNIOR, S. C. de F.; GONDIM, R. S. Estimativa da Eto pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 75-83, 2011.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003.

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

SANTOS, R. A. dos; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; ATARASSI, R.T.; ALVES JÚNIOR, J. Projeto, construção e calibração de um lisímetro móvel de pesagem, com célula de carga hidráulica, para determinação da demanda hídrica de mudas cítricas em casa de vegetação. **Revista Irriga**, v. 12, n. 2, p. 202-215, 2007.

SANTOS, T. V. dos; **Fluxos de calor na superfície e evapotranspiração diária em áreas agrícolas e de vegetação nativa na bacia do Jacuí por meio de imagens orbitais**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, T. J. A. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do balanço de radiação e lisimetria de pesagem hidráulica**. 2005. 99 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

vulgaris L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, n. C5, p. 8995-9005, 1985.