

CALIBRAÇÃO EM CAMPO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM¹

Benito Moreira de AZEVEDO²
Guilherme Vieira do BOMFIM³
Thales Vinícius de Araújo VIANA²
Ronaldo Lima Moreira BORGES³
Denise Vieira VASCONCELOS⁴

RESUMO: O presente trabalho foi realizado no município de Limoeiro do Norte, estado do Ceará, e teve como objetivo promover a avaliação dos resultados obtidos no processo de calibração de um lisímetro de pesagem, através da comparação dos resultados de regressão linear, alcançados com o acréscimo e com a retirada de massa do equipamento. O lisímetro em questão é semelhante aos utilizados por Azevedo (1999 a) e por Viana (2000). Após a realização dos passos necessários ao processo de calibração e com a utilização de uma análise estatística de regressão linear, foram obtidos os resultados, os quais demonstraram que a correlação entre as massas aplicadas e retiradas sobre a superfície lisimétrica, com as leituras da célula de carga foi linear. Os resultados do ensaio de calibração do lisímetro de pesagem, obtidos com a adição e a subtração de massa, apresentaram os coeficientes de determinação (r^2) similares, com valores de 0,9988 e 0,9993, respectivamente. Dessa forma, em todas as situações o erro padrão de estimativa da regressão linear foi inferior a 1%.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Célula de Carga, Regressão Linear, Evapotranspiração.

CALIBRATION OF A WEIGHTING LYSIMETER

ABSTRACT: This work was made in Limoeiro do Norte County, State of Ceara, Brazil, to calibrate a weighting lysimeter through linear regression of data obtained by addition and removal of weight (mass). The tested lysimeter is similar to the ones used by AZEVEDO (1999 b) and VIANA (2000). The results showed a significant correlation between the applied and removed weights (masses) with the readings at the charge cell fitting a linear regression. The calibration also showed that the coefficients of determination (r^2) were similar for the addition as well as for the removal of masses with values of 0.9988 and 0.9993, respectively. In both cases the standard error for the linear regression was lower than 1%.

INDEX TERMS: Load Cell, Lineal Regression, Evapotranspiration.

¹ Aprovado para publicação em 17.08.2004

² Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará – DENA/UFC, Dr. em Irrigação e Drenagem. Av. Mister Hull, Campus do Pici, Fortaleza (CE) – 60.356-000.

³ Engenheiro Agrônomo do DENA/UFC, Mestrando em Irrigação e Drenagem. Av. Mister Hull, Campus do Pici, Fortaleza (CE) – 60.356-000.

⁴ Aluna do curso de Agronomia da UFC.

1 INTRODUÇÃO

As regiões semi-áridas do Brasil e do mundo como um todo são caracterizadas tanto pela escassez dos recursos hídricos como pela ocorrência de um período limitado de precipitações, de maneira que a deficiência hídrica dos solos durante pelo menos seis meses ao longo do ano é uma realidade. Nessas condições, a produção de gêneros agrícolas é reduzida de forma substancial, acabando por inviabilizar todo o sistema produtivo. Este episódio torna evidente a importância da irrigação na superação desses impasses, pois a mesma é uma técnica que, quando bem manejada, é capaz de proporcionar a maximização da produção agrícola, além de possibilitar um aproveitamento racional dos recursos hídricos.

Um dos artifícios que possibilita o adequado manejo da irrigação é a correta quantificação da água a ser reposta ao sistema. Quando a água é aplicada em quantidades insuficientes, ocorre uma redução da reserva hídrica útil do solo, prejudicando as plantas, desperdiçando recursos valiosos e aumentando os custos da água aplicada, além de acentuar os problemas relacionados com a salinização do solo, intensificados com o emprego de água com elevados teores de sais. Por outro lado, quando a água é aplicada de maneira excessiva, ocorrem perdas e lixiviação de nutrientes pela percolação abaixo das zonas das raízes, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos e, em terrenos mal drenados, provocar a saturação do solo.

O procedimento para se quantificar corretamente a água a ser utilizada nas irrigações é mediante o conhecimento da evapotranspiração (ET), pois a mesma é uma variável de grande importância na ecologia vegetal e no planejamento agrícola, tendo em vista permitir a estimativa das necessidades hídricas das culturas. A evapotranspiração (ET) é um termo utilizado para retratar a remoção de umidade para a atmosfera através do efeito conjunto dos processos de evaporação da água nas superfícies do solo e da planta, e da transpiração da água pela planta (DOORENBOS; PRUITT, 1990).

De acordo com Azevedo (1999 b), o balanço de energia, a tensão de vapor d'água na superfície evaporante, a temperatura do ar e o vento são os principais elementos meteorológicos que influenciam a evapotranspiração (ET). O mesmo autor afirma que quanto mais elevados forem os valores desses elementos meteorológicos, maiores serão as taxas de evapotranspiração (ET).

Para Tubelis e Nascimento (1992), quanto maior a superfície de abertura dos estômatos, mais elevada será a perda de água pelo processo de transpiração, entretanto, o principal fator que controla a abertura ou fechamento dos mesmos é o suprimento de água contida no solo, pois em condições de restrição de água as plantas ativam seus mecanismos para redução da transpiração.

Outro parâmetro meteorológico que interfere na obtenção de evapotranspiração (ET) é a advecção, pois o movimento lateral

de calor sensível é capaz de somar-se ao balanço de energia vertical, provocando um aumento excessivo nos valores observados da mesma (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDYIAMA, 1997). Assim, como diversos são os fatores que influenciam a evapotranspiração (ET), é de suma relevância que sua estimativa seja realizada de maneira precisa, tendo em vista que é um parâmetro meteorológico que permite quantificar as lâminas de água a serem aplicadas em qualquer cultura.

Nas condições agroclimáticas brasileiras tem-se destacado bastante a utilização de modelos empíricos de estimativa da evapotranspiração (ET), como é o caso dos métodos de Penman-Monteith, Tanque Classe A, Thornthwaite e outros. Esses métodos são aqueles adquiridos a partir de correlações entre a evapotranspiração (ET) medida em condições padronizadas e a evapotranspiração (ET) estimada através de elementos meteorológicos medidos em condições também uniformizadas. Portanto, desde que estes métodos estejam devidamente desenvolvidos e calibrados, poderão ser capazes de fornecer resultados confiáveis (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDYIAMA, 1997).

A maneira utilizada para se medir a evapotranspiração (ET) em condições padronizadas é através do uso de equipamentos lisimétricos. Tratando-se de pesquisa, Pereira, Villa Nova e Sedyiama (1997) afirmam que o lisímetro é um equipamento constituído por uma caixa impermeável no qual se encontra um

determinado volume de solo, o que permite conhecer com detalhes alguns termos do balanço hídrico desse volume.

Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982) e Allen et al. (1991) apresentam uma vasta revisão sobre equipamentos lisimétricos.

Segundo Viana (2000), os lisímetros podem apresentar diversas formas e tamanhos, sendo classificados de acordo com a maneira na qual o total de evapotranspiração (ET) é medido. Em complemento, Howell, McCormick e Phene (1991) afirmam que suas formas e áreas devem ser definidas de acordo com o tipo de cultura, principalmente em função das dimensões do sistema radicular.

Bernardo (1989) acredita que o método lisimétrico é bastante preciso na determinação da evapotranspiração (ET), desde que os equipamentos sejam instalados de maneira correta. Da mesma forma, Pereira, Villa Nova e Sedyiama (1997) acreditam que, independente do tipo de lisímetro disponível, é de fundamental importância que as condições internas do equipamento se assemelhem ao máximo das condições externas do ambiente, tanto no que se refere ao tipo de solo e de planta quanto nas condições de umidade desse solo.

De acordo com Silva (1996), os lisímetros comumente utilizados em pesquisa na medição da evapotranspiração (ET) podem ser organizados em dois grupos: os lisímetros de pesagem e os lisímetros que empregam outros princípios físicos na estimativa do uso da água na área estudada.

Os primeiros quantificam a evapotranspiração (ET) diretamente, através do balanço de massa de água, enquanto que os últimos quantificam a evapotranspiração (ET) indiretamente por meio do balanço volumétrico.

Até pouco tempo a acessibilidade desses instrumentos era muito restrita, principalmente em virtude de seu elevado custo, porém, com o avanço da modernização e do desenvolvimento das tecnologias de pesagem e de armazenamento de dados, tem-se tornado mais simples a construção desses instrumentos, com boa precisão e a custos cada vez menores. Já se encontram disponíveis no mercado diversos tipos de lisímetros mas, na atualidade, os lisímetros de pesagem são os dispositivos mais utilizados para a medição direta da evapotranspiração (ET), sendo capazes de fornecerem dados precisos em curtos intervalos de tempo, desde que adequadamente projetados, instalados, manejados e mantidos. O lisímetro de pesagem, segundo Viana (2000), é um equipamento composto por uma caixa com paredes impermeáveis, preenchido por solo, onde uma balança ou célula de carga realiza medições relativas à variação de peso. Esses dispositivos são comumente utilizados em períodos de tempo menores que um dia (HOWELL; McCORMICK; PHENE, 1991).

Suas medições podem ser afetadas por fatores do ambiente, tais como o efeito da advecção (oásis), as dimensões do lisímetro, a umidade do solo em seu interior, a

espessura de suas paredes e a distância entre elas, a altura de suas bordas e diferenças de densidade entre a vegetação de dentro e de fora do lisímetro (MIRANDA; YODER; SOUSA, 1999). Dessa maneira, cuidados devem ser dados a esses equipamentos, desde o seu projeto até sua manutenção, para que os mesmos sejam capazes de fornecer dados condizentes com a realidade.

Howell, McCormick e Phene (1985) afirmam que os lisímetros de pesagem quase sempre são calibrados no próprio local e após sua instalação, realizando-se a cobertura do seu solo para minimizar as perdas por evaporação, e colocando-se sobre sua balança quantidades conhecidas de massas na medida em que vão sendo realizadas as leituras.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo promover a avaliação dos resultados obtidos no processo de calibração de um lisímetro de pesagem, localizado no município de Limoeiro do Norte (CE), por meio da comparação dos resultados de regressão linear, alcançados com o acréscimo e com a retirada de massa do equipamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi conduzido na Fazenda Frutacor, situado em Limoeiro do Norte (CE), cujas coordenadas geográficas são (5°06'38" e 5°11'05") de latitude Sul e (37°52'21" e 37°56'05") de longitude a Oeste de Greenwich.

O equipamento é semelhante àqueles utilizados por Azevedo (1999 a) e por Viana (2000). O lisímetro possui duas caixas metálicas, uma interna sobre a qual uma balança eletrônica está apoiada e uma outra externa, onde, juntamente com a caixa interna, encontram-se apoiadas sobre uma laje de concreto armado, cuja largura é de 2 m por 2 m e espessura de 0,15 m. A caixa interna foi dimensionada com larguras de 1,5 m por 1,5 m e profundidade de 1 m, onde suas paredes foram formadas por chapas de aço com 0,006 m de espessura e reforçadas com barras soldadas na porção interna e na porção externa.

A caixa externa possui duas partes, uma localizada na porção inferior e a outra localizada na porção superior. A porção de baixo possui duas paredes distanciadas da caixa interna por 0,075 m, e a parte de cima encontra-se distanciada da caixa interna por apenas 0,025 m. O topo de ambas as caixas se encontra distanciado 0,05 m acima da superfície do solo. Três tubos para drenagem de PVC estão sendo utilizados. O primeiro tubo, possuindo 0,1 m de diâmetro e 0,6 m de profundidade, está situado no centro da laje de concreto para possibilitar a drenagem no interior da caixa externa. O segundo tubo (perfurado), com 0,05 m de diâmetro e 1,6 m de comprimento está localizado sobre o fundo da caixa interna para realizar a drenagem do solo e, o terceiro tubo, de 0,05 m, está se elevando até a superfície do solo para retirar a água drenada, cujo

processo se encontra auxiliado por uma pequena bomba manual a vácuo.

A balança eletrônica utilizada é do tipo plataforma, modelo DS 6060-10 (Weigh Tronix), e está constituída por quatro células de carga do tipo Weigh Bar, cada uma com uma capacidade de pesagem de 4,54 kg. O elemento sensível é composto por quatro barras de pesagem torcionais hermeticamente seladas, de maneira a prevenir quaisquer interferências provenientes de poeira ou umidade. O espaço entre as caixas interna e externa foi coberto por um plástico, de maneira a impedir a entrada de pequenos animais ou detritos. O dispositivo lisimétrico pode ser visualizado na Figura 1.

Um microprocessador eletrônico do tipo datalogger (Figura 2), modelo CR23X (Campbell Scientific, Inc., Logan EUA), foi empregado na coleta dos dados provenientes da balança eletrônica. Também foi adquirido um módulo de memória, modelo SM4M (Storage Module), encarregado do armazenamento dos dados coletados, de maneira que proporcionasse a posterior transferência desses dados para um microcomputador, onde os mesmos foram processados e analisados.

A calibração lisimétrica foi iniciada com a confecção e aferição das massas-padrão, que ficaram organizadas em séries de 0,4 kg (5 unidades), 1 kg (6 unidades), 2 kg (5 unidades) e 4 kg (6 unidades), totalizando um valor correspondente a 42kg.



Figura 1 – Lisímetro de pesagem instalado no município de Limoeiro Norte-CE, 2003.

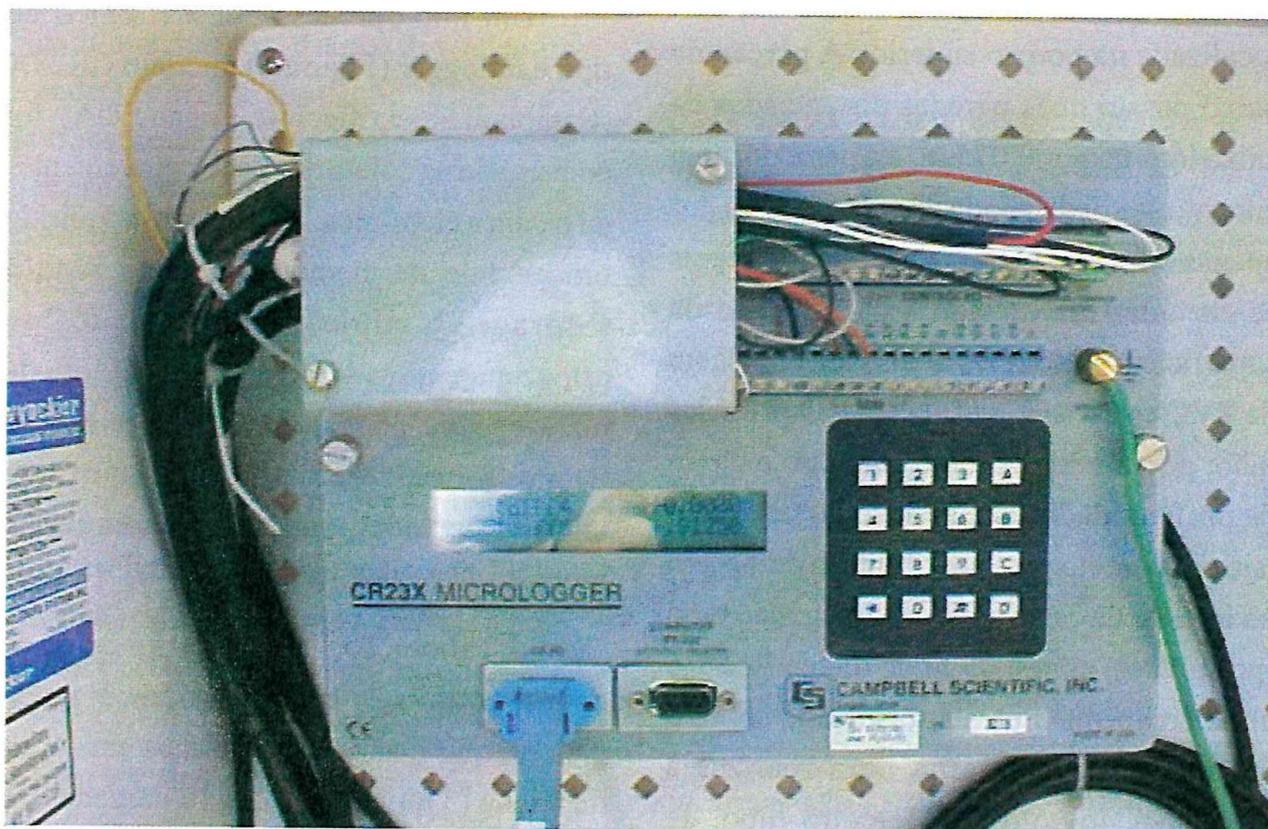


Figura 2 – Sistema de aquisição de dados (datalogger) empregado na calibração lisimétrica em Limoeiro do Norte-CE, 2003.

O sistema de aquisição de dados foi devidamente programado para realizar a leitura dos dados lisimétricos a cada segundo e sua coleta a cada 60 segundos, fazendo o descarte dos 30 segundos iniciais, com o intuito de permitir que a balança estivesse em estado de estabilidade no momento em que os dados fossem adquiridos, ou seja, os dados registrados no módulo de memória corresponderiam à média dos 30 segundos finais.

A área onde se encontra instalado o lisímetro de pesagem foi organizada com o intuito de reduzir algum eventual erro de leitura da balança lisimétrica, de facilitar o manuseio das massas-padrão e de proporcionar melhores condições de trabalho.

Inicialmente, foi retirado todo o excesso de vegetação que se encontrava circundando o equipamento, de maneira a facilitar a circulação dos profissionais pela área, assim como promover um melhor manuseio dos materiais que auxiliaram o experimento. Em seguida, uma pequena bomba manual, construída artesanalmente com canos de PVC, foi empregada na realização da sucção do excesso de água contida no interior do lisímetro. Pouco antes da realização do processo de calibração, foram providenciadas algumas lonas, que passaram a cobrir toda a superfície lisimétrica, de modo a evitar ao máximo a incidência direta da radiação solar, que aumentaria o processo de evaporação, e, conseqüentemente, interferiria nos resultados obtidos.

Nessa condição, foi realizada a adição unitária e sucessiva das massas-padrão sobre a superfície do lisímetro, obedecendo-se à seqüência da referida confecção, ou seja, a partir da primeira massa, de 0,4 kg, até a última, de 4 kg, totalizando um valor correspondente a 42 kg. Em um segundo momento, procedeu-se à operação inversa, ou seja, a partir do total de massas-padrão aplicadas sobre a superfície lisimétrica, realizou-se a sua subtração unitária e sucessiva, a cada minuto, até a sua completa retirada.

De posse dos dados de calibração lisimétrica, fez-se o uso de um aplicativo da Microsoft (Excel 2000) para a confecção dos gráficos de regressão linear e a obtenção dos seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) e equações representativas. A análise dos dados foi fundamentada na comparação entre os resultados obtidos com a adição e com a subtração das massas-padrão empregadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta apresentada pela balança lisimétrica foi resultante da sucessiva adição e subtração de massas-padrão (Tabela 1). Os resultados do ensaio de calibração do lisímetro de pesagem, observados nas Figuras 3 e 4, demonstram que, em ambos os casos, ou seja, tanto na adição como na subtração das massas-padrão, a correlação com as leituras das células de carga apresentou uma resposta linear. A equação representativa obtida através da adição das massas-padrão foi igual a

$y = 2352x - 4794,3$, em que y representa a massa (kg) e x a leitura (mV), enquanto que a equação representativa obtida através da subtração dessas massas correspondeu a $y = 2435,2x - 4962,2$. O coeficiente de determinação (r^2) apresentou resultados

similares, com valores de 0,9988 e 0,9993, respectivamente. Esses resultados alcançados permitem afirmar que o erro padrão de estimativa da regressão linear foi inferior a 1%, em ambos os casos estudados.

Tabela 1 – Valores de massas e de leituras lisimétricas obtidos com o processo de calibração em Limoeiro do Norte (CE), 2003.

Peso adicionado (kg)	Leituras (mV)	Peso retirado (kg)	Leituras (mV)
0,00	2,0380	42,00	2,0560
0,00	2,0380	42,00	2,0550
0,00	2,0380	38,00	2,0530
0,40	2,0380	34,00	2,0520
0,80	2,0390	30,00	2,0500
1,20	2,0390	26,00	2,0480
1,60	2,0390	22,00	2,0470
2,00	2,0390	18,00	2,0450
3,00	2,0400	16,00	2,0440
4,00	2,0400	14,00	2,0430
5,00	2,0410	12,00	2,0420
6,00	2,0410	10,00	2,0420
7,00	2,0410	8,00	2,0410
8,00	2,0420	7,00	2,0410
10,00	2,0430	6,00	2,0400
12,00	2,0440	5,00	2,0400
14,00	2,0440	4,00	2,0390
16,00	2,0450	3,00	2,0390
18,00	2,0460	2,00	2,0390
22,00	2,0480	1,60	2,0380
26,00	2,0500	1,20	2,0380
30,00	2,0510	0,80	2,0380
34,00	2,0530	0,40	2,0380
38,00	2,0550	0,00	2,0380
42,00	2,0560	0,00	2,0380

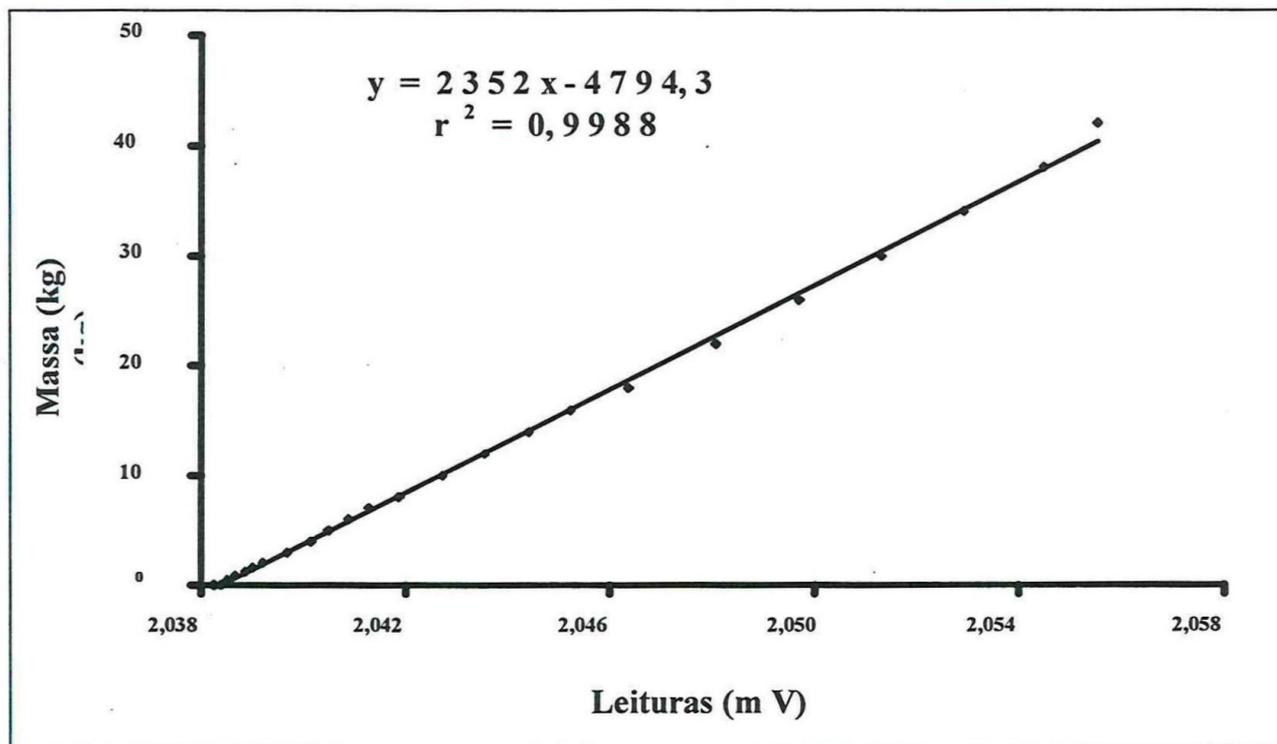


Figura 3 – Resultados do ensaio de calibração de um lisímetro de pesagem obtidos com a adição das massas-padrão, em Limoeiro do Norte (CE), 2003.

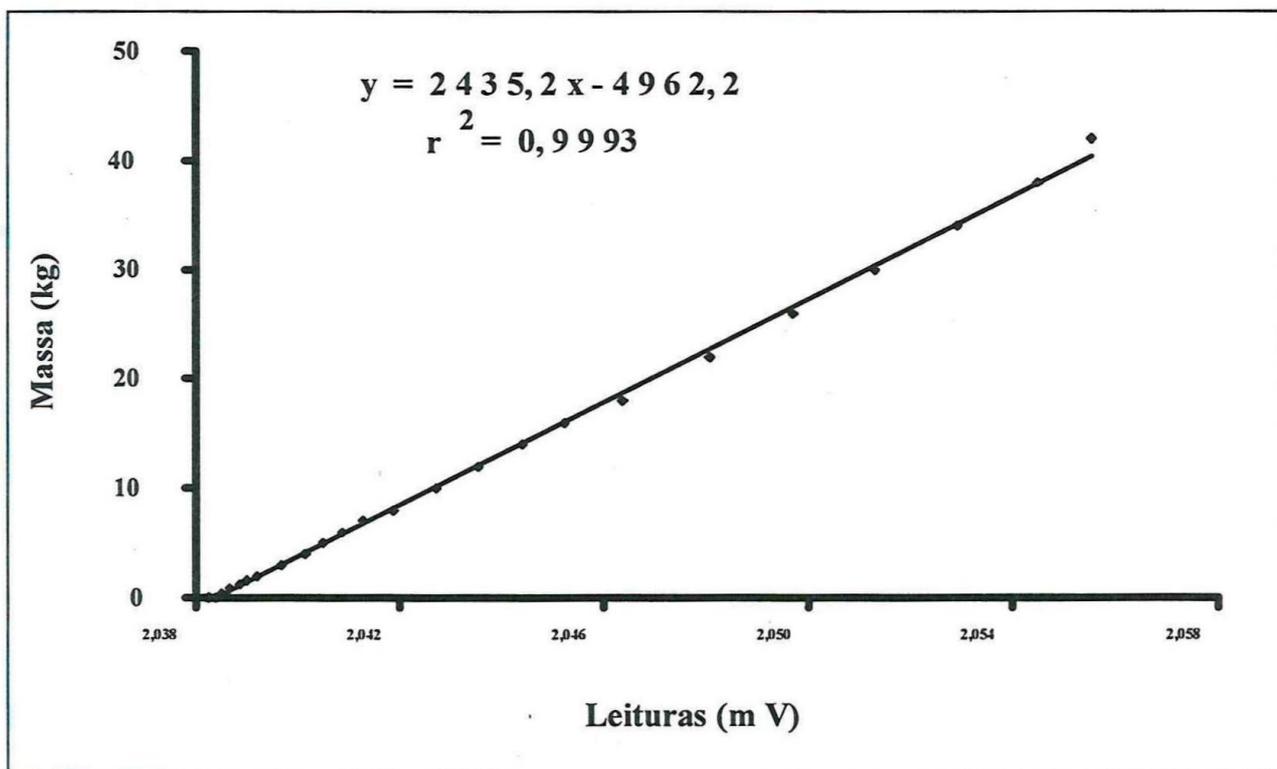


Figura 4 – Resultados do ensaio de calibração de um lisímetro de pesagem obtidos com a subtração das massas-padrão em Limoeiro do Norte (CE), 2003.

Na avaliação do lisímetro, quanto à sensibilidade das células de carga, foram utilizadas massas-padrão de 0,05 kg, 0,10 kg, 0,20 kg, 0,30 kg e 0,40 kg, quando foi observada modificação nas leituras realizadas. Ou seja, somente a partir da massa-padrão de 0,40 kg é que foi verificada a sensibilização do equipamento, conseqüentemente, o início do processo de calibração. Constatou-se que a menor massa empregada, 0,40 kg, representou uma lâmina d'água de 0,18 mm.

4 CONCLUSÃO

A calibração do lisímetro de pesagem em questão, realizada em condições de campo, foi efetuada a contento com a adição e com a subtração de massas-padrão, visto que os coeficientes de determinação (r^2) obtidos foram próximos da unidade. Observou-se uma relação linear entre a leitura das células de carga e a massa.

Dessa maneira, o lisímetro de pesagem encontra-se apto a fornecer dados precisos e seguros de evapotranspiração (ET), o que representa uma importante fonte de informações no auxílio ao desenvolvimento tecnológico da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. *Lysimeters*. Rome: FAO, 1982. 68p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O.; WALTER, I. A.; JENSEN, M. E. *Proc. of the International Symposium on Lysimeter*. New York: ASCE, 1991. (Irrigation and Drainage).

AZEVEDO, B. M. *Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos*. 1999. 81p. Dissertação (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999a.

———. *Meteorologia e climatologia agrícolas*. Fortaleza: [s.n.], 1999b. 101p.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5.ed. Viçosa (MG): Imprensa Universitária, 1989. 596p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Las necesidades de agua de los cultivos*. 5.ed. Rome: FAO, 1990. 194p. (FAO Irrigation Drainage Paper, 24).

HOWELL, T. A.; McCORMICK, R. L.; PHENE, C. J. Design and installation of large weighing lysimeters. *Transactions of the ASAE*, v.28, n.117, p.106-112, 1985.

———; ———; ———. Design and installation of large weighing lysimeters. *Transactions of the ASAE*, v.35, n.4, p.1191-1198, 1991.

MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUSA, 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, v.3, n.1, p107-110, 1999.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYIAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ / USP, 1997. 183 p.

SILVA, F. C. *Uso de dispositivos lisimétricos para determinação da evapotranspiração de referência*. 1996. 61p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1996.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel, 1992. 374p.

VIANA, T. V. A. *Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e um lisímetro de pesagem em ambiente protegido*. 2000. 138p. Dissertação (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.