

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE LISIMETRIA DE PESAGEM NA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA PARA USO NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO DE CULTIVOS EM RECIPIENTES

ELIEZER SANTURBANO GERVÁSIO¹ E JÚLIO CÉSAR FERREIRA DE MELO JÚNIOR²

¹ Professor Associado I, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Rodovia BR 407, km 119, CEP: 56300-000, Petrolina – PE, Brasil, eliezer.gervasio@univasf.edu.br

² Professor Associado I, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Rodovia BR 407, km 119, CEP: 56300-000, Petrolina – PE, Brasil, julio.melo@univasf.edu.br

1 RESUMO

Neste trabalho teve-se como objetivo automatizar um sistema de irrigação localizada utilizando a técnica de lisimetria de pesagem. Os minilísímetros foram desenvolvidos para monitorar o consumo de água de cultivos e indicar o momento do acionamento de um sistema de irrigação por gotejamento. Inicialmente, o projeto foi concebido para atender a experimentos relacionados ao manejo da irrigação de cultivos em recipientes. Para isso, foram construídos seis minilísímetros de pesagem, permitindo o monitoramento de tratamentos correspondentes a seis níveis de depleção de água no substrato. Cada minilísímetro, funcionando de forma independente, foi programado para fazer, em tempo real, a leitura da variável peso e comparar este valor com os limites estabelecidos para cada tratamento (peso da capacidade de container e peso crítico, este representado por cada nível de depleção de água no substrato avaliado). Com esse monitoramento foi possível automatizar o acionamento de seis válvulas hidráulicas de controle elétrico e do conjunto motobomba, permitindo a irrigação de todo o experimento. Após três anos de desenvolvimento e testes de campo foi possível comprovar a eficiência do sistema proposto. A tecnologia gerada permitirá o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao manejo da irrigação de cultivos em recipientes, com o intuito de quantificar de forma precisa, o consumo de água pela planta. Essa tecnologia também poderá ser adaptada e aplicada a nível comercial para auxiliar o manejo da irrigação de cultivos em recipientes de flores e olerícolas, utilizando-se substratos orgânicos.

Palavras-chave: cultivo sem solo, microcontrolador, minilísímetro, helicônia.

**GERVÁSIO, E.S.; MELO JÚNIOR, J.C.F. de.
USE OF WEIGHING LYSIMETER TECHNIQUE FOR AUTOMATION OF A
TRICKLE IRRIGATION SYSTEM FOR IRRIGATION OF CROPS IN
CONTAINERS**

2 ABSTRACT

The objective of this study was to automate an irrigation system using the weighing lysimeter technique. The mini lysimeters were developed to monitor the crop water consumption and identify the time of activation of a drip irrigation system. Initially, the project was designed to

serve experiments related with irrigation management of crops in containers. Thus, six mini weighing lysimeters were built allowing the monitoring of treatments corresponding to six levels of water depletion in the substrate. Working independently, each lysimeter was scheduled to do the readings of the weight variable in real time, and to compare these values with the limits established for each treatment (weight of the container capacity and critical weight, the latter represented by each level of water depletion in the substrate evaluated). Based on this monitoring, it was possible to automate the trigger of six hydraulic valves of electric control and the pump set, which allowed the irrigation of the whole experiment. After 3 years of the study development and field tests, the proposed system was proven to be efficient. The technology generated by this study will lead to development of new research related to the management of crop irrigation in containers to accurately identify plant water consumption. This technology can also be adapted and applied, in a commercial basis, to support the irrigation management of crops in containers of flowers and vegetable crops using organic substrates.

Keywords: soilless culture, micro controller, weighing mini lysimeter, Heliconia.

3 INTRODUÇÃO

Em termos mundiais, a agricultura é responsável pela utilização de 70% da água doce consumida no planeta, e por isso tem sido alvo de crítica pela sociedade. Para que haja racionalidade no uso da água, é necessária a implementação de pesquisas e ações de transferência de informação ao setor produtivo, visando aumentar a eficiência de utilização da água na irrigação (QUAGLIA, 2005). Com o intuito de minimizar o consumo de água e tornar a irrigação mais eficiente, tem-se desenvolvido métodos que permitem determinar o momento das irrigações e a quantidade de água a ser disponibilizada para a planta. Segundo Campeche (2002), para quantificar a necessidade de água das culturas é preciso contabilizar as entradas e saídas de água num dado volume de solo ou substrato durante um intervalo de tempo, utilizando-se para isso, o método do balanço hídrico. Esse balanço pode ser realizado de diversas formas, como por exemplo, com a utilização da técnica de lisimetria de pesagem.

Aboukhaled et al. (1982) e Howell et al. (1991) consideram lisímetros de pesagem como um dos melhores equipamentos disponíveis para medir com acurácia o consumo de água das culturas. Milner (2002) considera a pesagem de recipientes uma excelente alternativa no manejo da irrigação em substratos, permitindo determinar “in situ” o consumo de água ao longo do dia. De acordo com Khan et al. (1993) e Schneider et al. (1998), os lisímetros podem ter diferentes custos os quais dependerão dos materiais utilizados na sua construção, do seu tamanho e a da tecnologia empregada. Silva et al. (1999) constataram que os lisímetros equipados com mecanismos de pesagem por meio de células de carga são os mais modernos e permitem a realização de medidas automatizadas. Essa automação permite a aquisição de dados mais confiáveis, possibilitando a obtenção de medidas em escala horária. A difusão e disponibilidade comercial desses sensores eletrônicos têm permitido o uso mais frequente de lisímetros de pesagem em trabalhos relacionados ao consumo de água das culturas, a um custo relativamente baixo.

As técnicas culturais aplicadas à produção de flores, frutas e hortaliças têm experimentado mudanças rápidas e notáveis durante as três últimas décadas. A utilização de casas de vegetação com cobertura plástica, sistemas de controle climático, equipamentos de

irrigação e fertirrigação automatizados, têm contribuído para aumentar a produtividade das culturas e a qualidade dos produtos (CADAHIA LOPEZ, 2000).

Paralelamente a essas mudanças tecnológicas, verifica-se uma substituição gradual do cultivo tradicional em solo pelo cultivo sem solo (hidropônico ou em recipientes com uso de substratos). Segundo Abad et al. (1992), as principais razões dessa substituição referem-se à existência de fatores limitantes para a continuidade dos cultivos intensivos em solo natural, particularmente salinização, enfermidades e esgotamento dos solos agrícolas. Além disso, as técnicas disponíveis para a produção possibilitam um controle rigoroso do ambiente radicular, especialmente dos aspectos relacionados com o fornecimento de água e nutrientes. De acordo com Lemaire et al. (1989) a irrigação dos cultivos em recipientes, quando comparada aos cultivos em solo, apresenta as seguintes particularidades: elevadas necessidades instantâneas de água por unidade de massa radicular; reduzido volume de substrato disponível para a planta; existência de uma parede impermeável na base do substrato e importância relativa dos fenômenos de advecção. Essas particularidades implicam em risco de estresse hídrico, o qual deve ser prevenido com um maior controle da irrigação.

Sendo assim, a utilização da técnica de lisimetria de pesagem pode ser uma excelente alternativa para monitorar o consumo de água das plantas cultivadas nesses recipientes de reduzido volume. Estabelecidos os limites de máxima capacidade de retenção de água no recipiente (capacidade de “container”) e de início da irrigação (peso crítico), esse monitoramento permite manter as plantas em condições ideais de umidade para o seu pleno desenvolvimento. Além disso, esse método possibilita manejar a irrigação de cultivos em substratos utilizando um fator chamado taxa de lixiviação, o qual representa um percentual de água aplicada ao recipiente com o intuito de prevenir o acúmulo de sais no sistema. Esse percentual pode ser definido experimentalmente, baseado num valor relativo à capacidade de container.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como principais objetivos: (a) construção de minilímetros de pesagem; (b) desenvolvimento de um circuito eletrônico microcontrolado para automatizar um sistema de irrigação localizada; (c) calibração dos minilímetros de pesagem; (d) validação do sistema em condições de campo por meio do monitoramento do consumo de água de plantas de helicônia cultivadas em vaso.

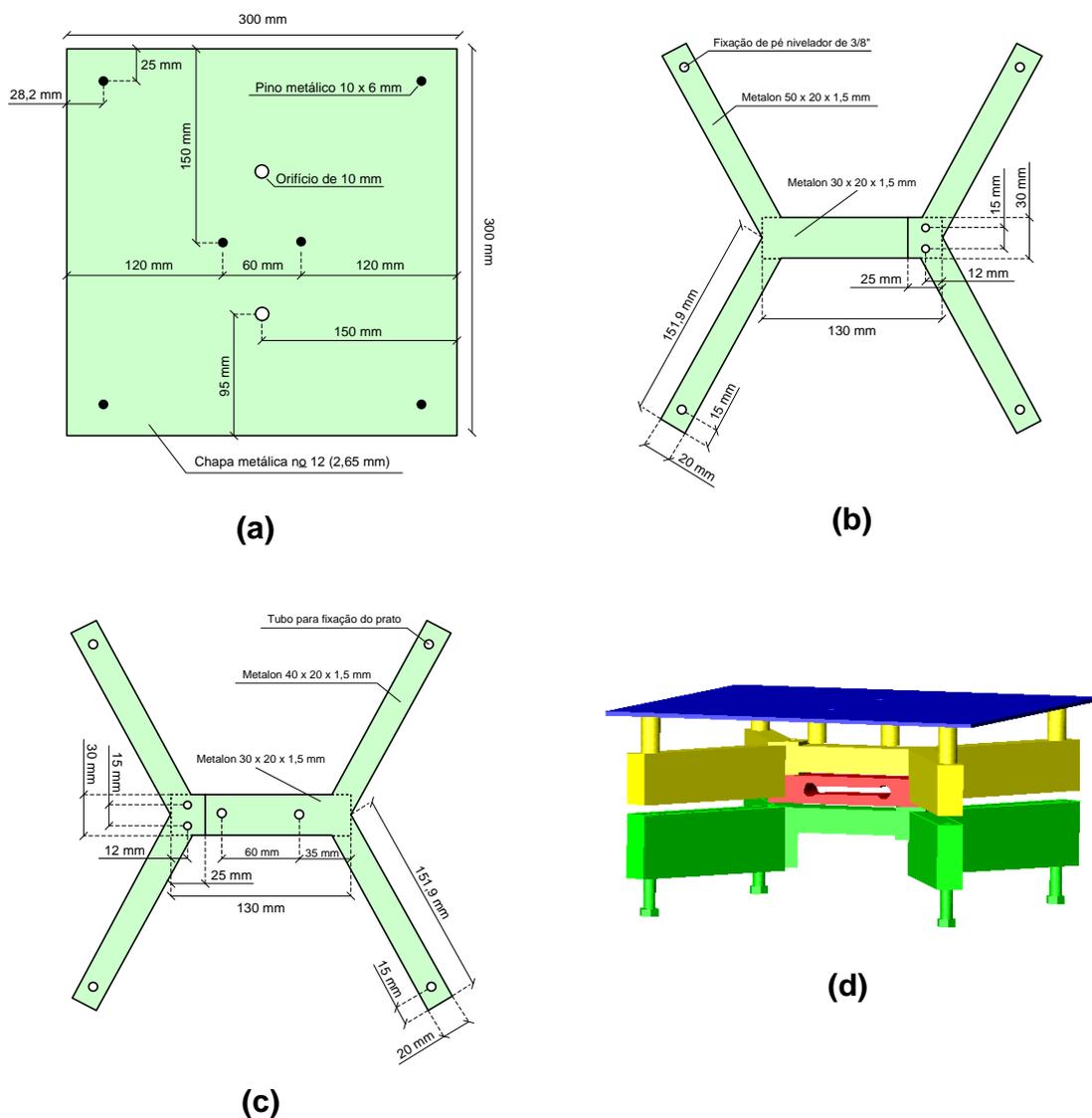
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Construção dos minilímetros de pesagem

Nessa etapa do trabalho foram construídos seis minilímetros de pesagem. Cada um foi constituído de uma base metálica para fixação do elemento sensor (célula de carga), da própria célula de carga e de um prato para sustentação do vaso. A base metálica foi projetada para receber células de carga do tipo “single point”, possibilitando atender uma ampla faixa de pesagem (5 a 50 kg). Essa concepção permite ajustar o equipamento às necessidades de pesagem trocando apenas o elemento sensor. A base metálica foi confeccionada em tubo de aço carbono (metalon), apresentando um corpo central para fixação da célula de carga e quatro braços de apoio com parafusos ajustáveis para nivelamento do equipamento. Como elemento sensor, foi utilizado células de carga do fabricante Berman Load Cells, modelos BSPL20 e BSPL30 (capacidades de 20 e 30 kg). Sobre a célula de carga foi fixada uma plataforma confeccionada em chapa metálica. A Figura 1 ilustra o projeto de construção do minilímetro de pesagem e a Tabela 1, o quantitativo de material necessário para a construção de seis

minilísímetros. O custo de cada minilísímetro incluindo material, serviço de serralheria e célula de carga foi de R\$ 248,00 em 24/08/2010 (US\$ 140,67).

Figura 1. Projeto do minilísímetro de pesagem. Prato para sustentação do vaso (a); base metálica inferior (b); base metálica superior (c); layout do minilísímetro em 3D (d).



O modelo de minilísímetro apresentado na Figura 1 possibilita a utilização de vasos com diâmetros de até 50 cm, permitindo o monitoramento da irrigação de diversas culturas, principalmente aquelas que emitem uma quantidade elevada de perfilhos e que necessitam de uma maior área de vaso para o seu crescimento (espécies da família *Heliconiaceae*).

Tabela 1. Quantitativo de material utilizado para a confecção de seis minilísímetros de pesagem.

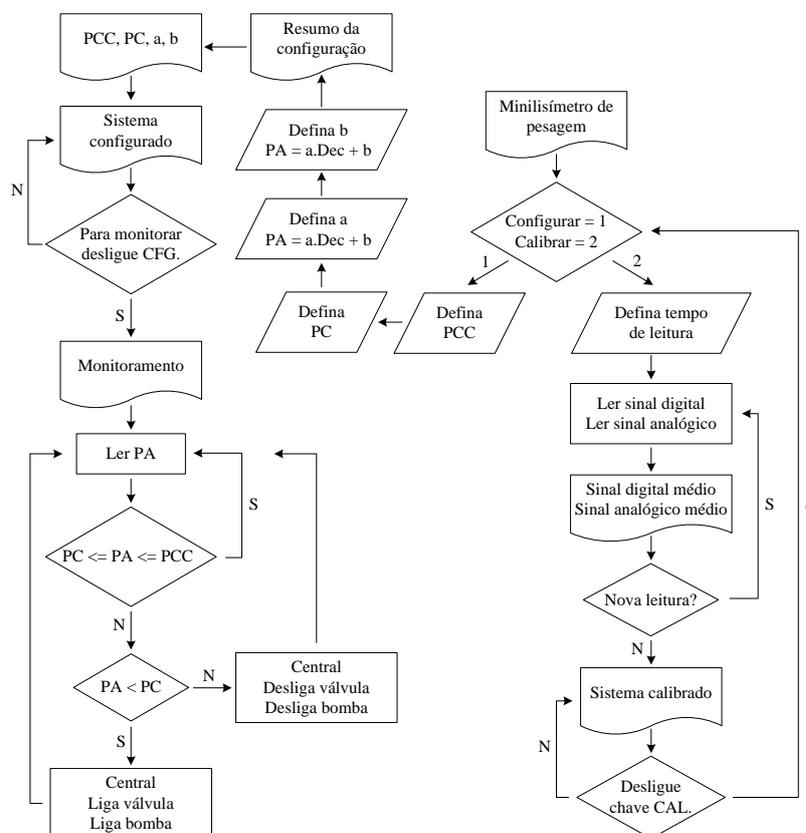
Descrição	Unidade	Quantidade
Metalon 50 x 20 x 1,5 mm (C x L x E) ¹	m	4
Metalon 40 x 20 x 1,5 mm (C x L x E)	m	4
Metalon 30 x 20 x 1,5 mm (C x L x E)	m	1
Barra chata de 1" x 3/16"	m	1
Pé nivelador de 3/8"	un.	24
Porca de 3/8"	un.	24
Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno de 2" x 6 mm (C x D) ²	un.	24
Chapa metálica 12 (2,65 mm)	m ²	0,54
Barra metálica circular de 10 mm	m	0,5
Tubo circular de 13 mm	m	0,11
Célula de carga modelo "single point"	un.	6

¹ (C x L x E) – comprimento x largura x espessura

² (C x D) – comprimento x diâmetro

4.2 Circuito eletrônico microcontrolado do minilísímetro de pesagem

O desenvolvimento do circuito eletrônico do minilísímetro iniciou-se com a elaboração de um algoritmo descritivo e sua representação em forma de fluxograma (Figura 2).

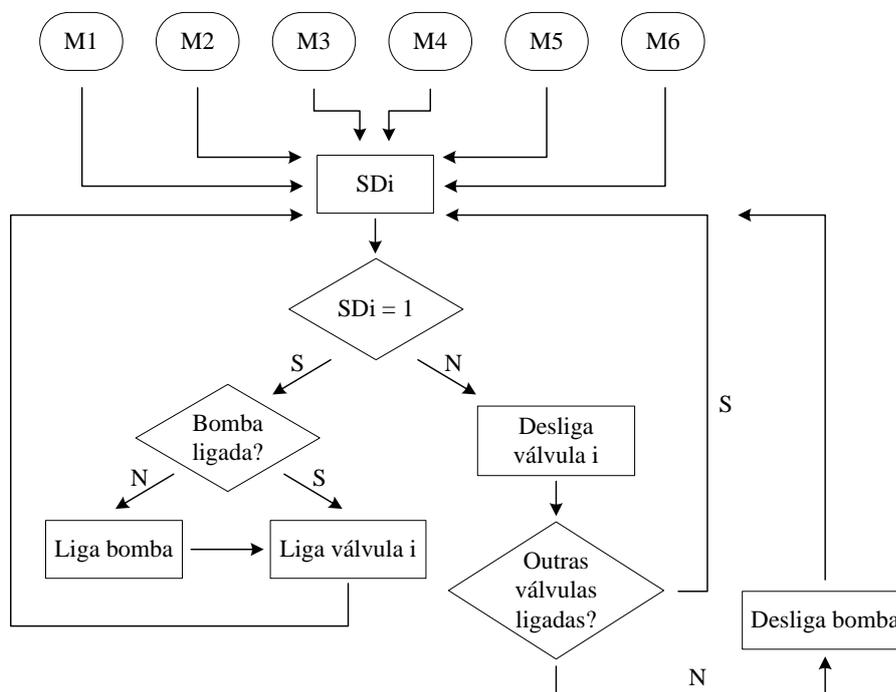
Figura 2. Fluxograma do funcionamento do minilísímetro de pesagem.

Cada minilísímetro foi projetado para realizar uma série de tarefas, bem como permitir a interface homem-máquina para configuração de parâmetros de funcionamento e calibração. Dentre as tarefas executadas, podemos destacar: leitura em tempo real do peso atual do sistema (vaso-substrato-planta), comparação do peso atual com os limites pré-estabelecidos no momento da configuração (peso da capacidade de “container” e peso crítico) e envio de sinais elétricos para a central microcontrolada, indicando o momento do acionamento ou desligamento da respectiva válvula e da motobomba. Os valores do peso atual também são disponibilizados para visualização (display de cristal líquido – LCD) e registro (data logger). Na configuração é permitido definir os parâmetros da equação de calibração da célula de carga, bem como os limites de peso a serem monitorados e definidos de acordo com o tamanho do recipiente a ser utilizado.

Por fim, cada minilísímetro embarca em seu sistema uma rotina que permite a calibração da célula de carga a ser utilizada. Com essa rotina, foi possível gerar os pontos que expressaram a relação funcional entre o peso do sistema e o sinal digital enviado pelo circuito eletrônico. Após a elaboração do algoritmo descritivo, o mesmo foi representado em linguagem de programação C. Para isso, utilizou-se a plataforma PIC C Compiler da CCS Inc., que é um software voltado para o desenvolvimento de programas para microcontroladores da linha PIC. Esse aplicativo permite descrever o programa em linguagem C, além de possuir o compilador que gera o arquivo HEX a ser gravado no microcontrolador.

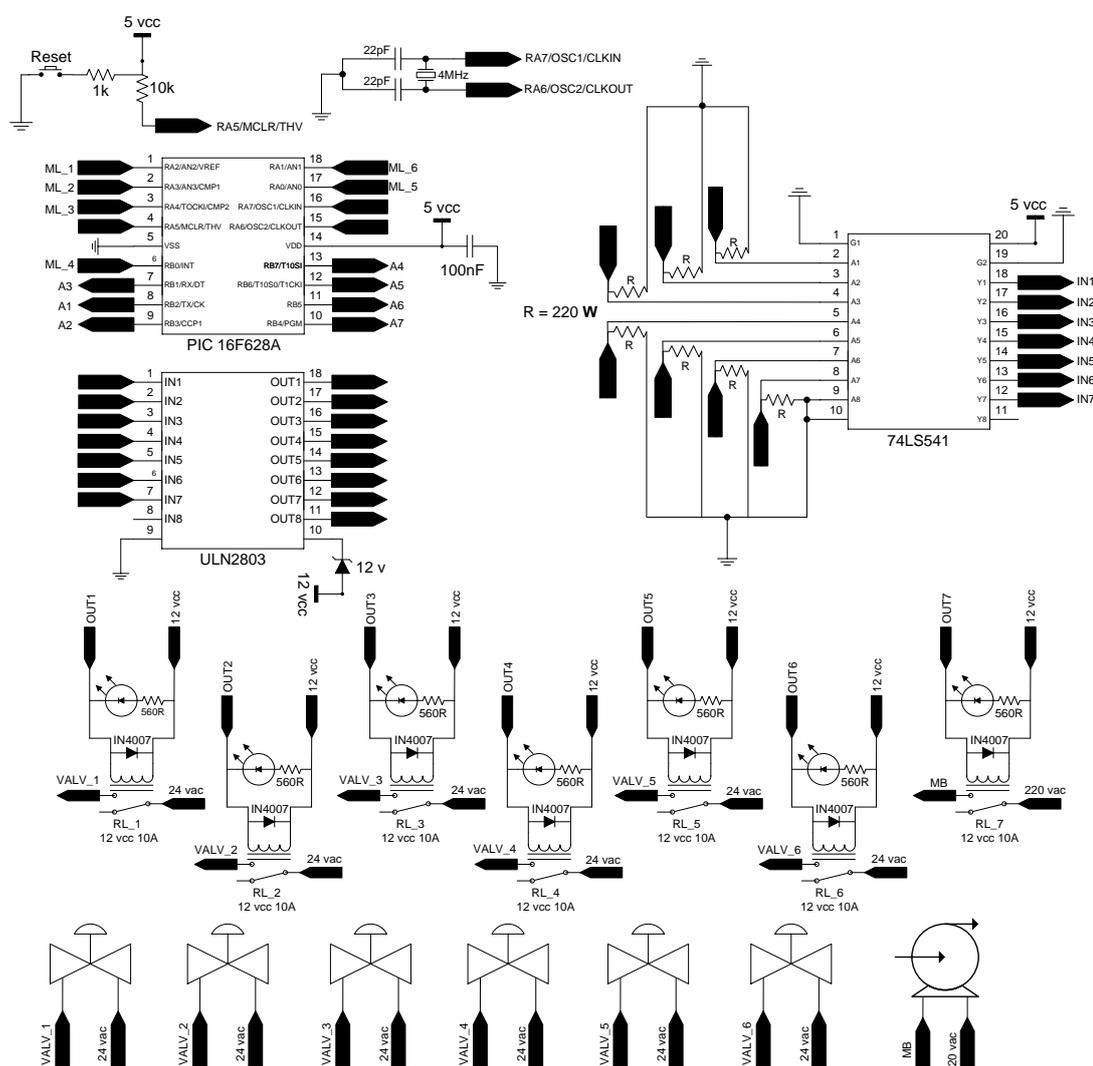
Após a finalização do firmware, partiu-se para o desenvolvimento do circuito eletrônico (hardware). Inicialmente, esse circuito foi projetado virtualmente com o auxílio do software Proteus – ISIS. Este software possui uma biblioteca de componentes eletrônicos, inclusive microcontroladores, que permite a montagem e simulação do circuito. Este procedimento inicial é recomendado, pois permite ao projetista visualizar o funcionamento do circuito sem a necessidade de montagem dos componentes em placa de protótipos, além de possibilitar a identificação de possíveis falhas no sistema e realização dos ajustes necessários, sem risco de danificar qualquer componente eletrônico.

No circuito eletrônico de cada minilísímetro, foi utilizado o microcontrolador PIC16F877A, no qual foi embarcado o arquivo HEX contendo todas as tarefas a serem executadas. Como periféricos, o circuito dispõe de botões para configuração do sistema e um display LCD de 16x2 caracteres que permite visualizar os parâmetros de entrada, bem como acompanhar o peso do sistema em tempo real. No circuito eletrônico do minilísímetro, ainda existe um amplificador instrumental (INA125P), responsável pelo condicionamento e amplificação do sinal analógico enviado pela célula de carga. Esse sinal analógico pode ser acessado por meio de “bornes” e armazenado em data logger para posterior estudo do consumo de água pela planta ao longo do dia. A Figura 3 ilustra o diagrama elétrico utilizado em cada minilísímetro de pesagem.

Figura 4. Fluxograma do funcionamento da central microcontrolada.

Após a elaboração do algoritmo descritivo e sua representação formal em linguagem de programação C, partiu-se para o desenvolvimento do circuito eletrônico (hardware). Na central microcontrolada, foi utilizado o microcontrolador PIC16F628A que recebe o sinal dos minilísimetros e controla o acionamento dos relês presentes no circuito. Esse circuito também apresenta um buffer octal (74LS541) que tem a função de proteger os pinos configurados como saída do microcontrolador e, ao mesmo tempo, fornecer os níveis de corrente elétrica suficientes para ativar os demais circuitos integrados. Para acionamento dos relês foi utilizado o circuito integrado ULN2803, que nada mais é que um driver de potência usado em interfaces que necessitam de uma maior corrente elétrica. A Figura 5 ilustra o diagrama elétrico da central microcontrolada.

Figura 5. Diagrama elétrico da central microcontrolada.



4.4 Calibração dos minilímetros de pesagem

Após a construção dos circuitos eletrônicos, procedeu-se a calibração dos minilímetros de pesagem, montados com as células de carga de 20 e 30 kg. Para isso, utilizou-se uma balança analítica de precisão onde foram pesadas várias amostras de brita (aproximadamente 100 g). Cada amostra foi colocada no minilímetro para que o mesmo fizesse a leitura e fornecesse o respectivo sinal digital correspondente ao peso. Esse procedimento foi repetido inúmeras vezes até atingir a capacidade nominal da célula de carga em teste. Vale ressaltar que o ensaio de calibração foi feito tanto no sentido do incremento como no sentido do decremento de peso, com o intuito de verificar a existência de histerese na célula de carga. Com os pontos obtidos foi possível expressar a relação funcional entre o peso e o sinal digital (Dec), bem como obter os parâmetros da equação de ajuste para alimentação do sistema no momento da configuração.

4.5 Montagem do sistema de irrigação automatizado

Após o desenvolvimento dos circuitos eletrônicos e a calibração das células de carga, iniciou-se a montagem do sistema de irrigação por gotejamento. Esse sistema foi idealizado para permitir a experimentação de espécies ornamentais cultivadas em vasos em resposta a diferentes níveis de depleção de água em substratos orgânicos. Para isso, o sistema foi dividido em seis setores por meio da utilização de válvulas hidráulicas de controle elétrico de 1". A jusante de cada válvula, instalou-se um hidrômetro para possibilitar a medida do volume de água utilizado pela cultura em cada nível de depleção adotado. A jusante de cada hidrômetro, instalou-se um regulador de pressão (100 kPa) com o intuito de manter a mesma pressão de funcionamento na entrada de cada setor de irrigação. Nas linhas de derivação foram utilizados tubos e conexões de PVC de 20 mm de diâmetro e nas linhas laterais foram usados tubos de polietileno de baixa densidade PN20 e 16 mm de diâmetro. Sobre as linhas laterais foram conectados microtubos de 8 mm de diâmetro e 1 m de comprimento tendo em sua extremidade, um gotejador autocompensante com vazão de 4 L/h.

Para melhorar a distribuição de água no vaso e evitar caminhos preferenciais por ocasião das irrigações, instalou-se na saída de cada gotejador um "manifold" de 4 saídas permitindo a distribuição da água no vaso em quatro pontos de emissão. Em cada ponto de emissão, instalou-se um gotejador do tipo flecha, o qual foi inserido no substrato. O conjunto formado pelo microtubo, gotejador e gotejadores tipo flecha foi fixado ao vaso por meio da utilização de estacas de microaspersores, também inseridas no substrato.

Cada setor de irrigação foi monitorado por um minilímetro de pesagem. Dessa forma, os setores de irrigação foram acionados de forma independente e automática em função dos níveis de depleção de água no substrato previamente estabelecidos.

Para a pressurização do sistema de irrigação utilizou-se um conjunto motobomba da marca KSB modelo C750 de 0,75 cv. A jusante do conjunto motobomba foram instalados um manômetro de Bourdon (0-400 kPa) e um filtro de tela de 1".

Todos os circuitos eletrônicos responsáveis pela automação do sistema de irrigação foram montados dentro de um quadro de comando o qual foi fixado em uma estrutura de alvenaria. Também no interior do quadro de comando, instalou-se um "data logger" da marca CONTEMP modelo A202 composto de oito canais analógicos configuráveis. Esse "data logger" foi utilizado para registrar em tempo real a leitura do peso de cada minilímetro. As informações de peso foram registradas a cada cinco minutos permitindo o monitoramento do consumo de água das plantas.

Para manutenção do funcionamento do sistema eletrônico por ocasião de uma eventual queda de energia, instalou-se no interior do quadro de comando um "no-break" de 700 VA. A Figura 6 ilustra os detalhes de cada componente do sistema de irrigação automatizado. Após a instalação do sistema de irrigação, o mesmo foi avaliado com o intuito de determinar a uniformidade de distribuição de água. Após análise dos dados, obteve-se uma uniformidade de 96,04%.

4.6 Validação do sistema de irrigação automatizado

Com o intuito de validar o sistema de irrigação automatizado foi realizado um experimento com o objetivo de avaliar níveis de depleção de água no substrato e seus efeitos no desenvolvimento de *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Red Opal cultivada em vaso. Os tratamentos representaram níveis de depleção de água no substrato, ou seja, consumos

percentuais de água em relação ao “peso da capacidade de container” (PCC) (5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% do PCC), os quais foram monitorados pelos minilísímetros de pesagem equipados com células de carga de 30 kg (um para cada tratamento). O experimento foi conduzido durante 18 meses, tempo suficiente para verificar a eficiência de monitoramento do sistema.

Figura 6. Detalhes do sistema de irrigação automatizado. (a) Cabeçal de controle contendo o conjunto motobomba, manômetro, filtro de tela, válvulas hidráulicas, hidrômetros e reguladores de pressão; (b) Quadro de comando contendo os circuitos eletrônicos dos minilísímetros, central microcontrolada, fonte de alimentação, “no-break”, “data logger” e chave de partida da motobomba; (c) Minilísímetros de pesagem para monitoramento do consumo de água das plantas; (d) Estádio de desenvolvimento das plantas aos 151 dias após plantio.



(a)



(b)



(c)



(d)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na calibração das células de carga estão apresentados na Tabela 2. Observou-se uma linearidade de resposta das células de carga ao incremento e decréscimo de peso. Os coeficientes de determinação obtidos por meio de regressão linear, utilizando todos os pontos observados (incremento e decréscimo de peso), permitem considerar a ausência de histerese nas células de carga. Os parâmetros das equações obtidos foram utilizados no momento da configuração dos minilísímetros de pesagem. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes et al. (2012), que calibraram um lisímetro de pesagem e também observaram linearidade de resposta das células de carga ao acréscimo e decréscimo de peso.

Tabela 2. Parâmetros das equações de ajuste para células de carga de 20 e 30 kg.

Célula de carga	Capacidade nominal (kg)	Parâmetros da equação (Peso = $a + b \cdot \text{Dec}$)		
		a	b	R ²
L01_W110072	20	0,020470	0,01985	0,9999
L02_W110065	20	-0,001082	0,02021	0,9999
L03_W110061	20	0,001047	0,01988	0,9999
L04_W110021	20	-0,005762	0,02001	0,9999
L05_W110023	20	-0,080570	0,02009	0,9998
L06_W110084	20	0,030200	0,01976	0,9999
L01_091116649	30	0,028370	0,03062	0,9999
L02_091200669	30	0,024380	0,03143	0,9999
L03_091116492	30	0,047890	0,03044	0,9999
L04_091116554	30	0,047220	0,03067	0,9999
L05_J336781	30	0,022540	0,03089	0,9998
L06_091116679	30	0,024050	0,03063	0,9999

Durante a condução do experimento, os valores da variável peso dos seis minilísímetros de pesagem foram armazenados em um “data logger”, permitindo registrar o consumo de água das plantas de helicônia em cada nível de depleção de água no substrato avaliado. Dessa forma, foi possível visualizar em gráfico os horários de maior e menor consumo, o número de irrigações realizadas e a frequência das irrigações em função dos tratamentos aplicados (Figura 7). O nível de depleção de água equivalente a 5% do PCC representa o tratamento em que a frequência de irrigação é maior. Pela Figura 7 observa-se que no cultivo em recipiente, essa frequência aconteceu em escala horária, principalmente nas horas mais quentes do dia. Esse fato demonstra a necessidade de automação do sistema de irrigação. Entretanto, no tratamento equivalente a 30% PCC (menor frequência de irrigação), as irrigações ocorreram em intervalos de aproximadamente três dias. Resultados do experimento evidenciaram que as plantas que cresceram nessas condições de manejo de irrigação, produziram menos perfilhos quando comparadas àquelas submetidas ao manejo de 5% do PCC (Figura 8). Neste tratamento, também foi observado um maior volume de água aplicado ao vaso (803,37 l vaso⁻¹ aos 509 dias após o plantio), quando comparado ao nível de depleção de 30% do PCC, considerando o mesmo período (547,25 l vaso⁻¹). A manutenção da umidade do substrato próxima à capacidade de container permite um aumento da atividade fisiológica da planta, o que explica a maior frequência de irrigação, maior número de perfilhos emitidos e o maior consumo de água observado no tratamento equivalente ao nível de depleção de 5% do PCC.

É importante mencionar que o estado de Pernambuco vem ocupando uma posição de destaque no cenário nacional no que se refere à produção de flores tropicais, e atualmente, é o

maior produtor dessas espécies no país. Nesse sentido, a utilização desse sistema poderá contribuir para a melhoria da tecnologia atualmente disponível na produção de flores nesse Estado.

Figura 7. Consumo de água em plantas de helicônia cultivadas em recipientes, em função dos níveis de depleção de água no substrato.

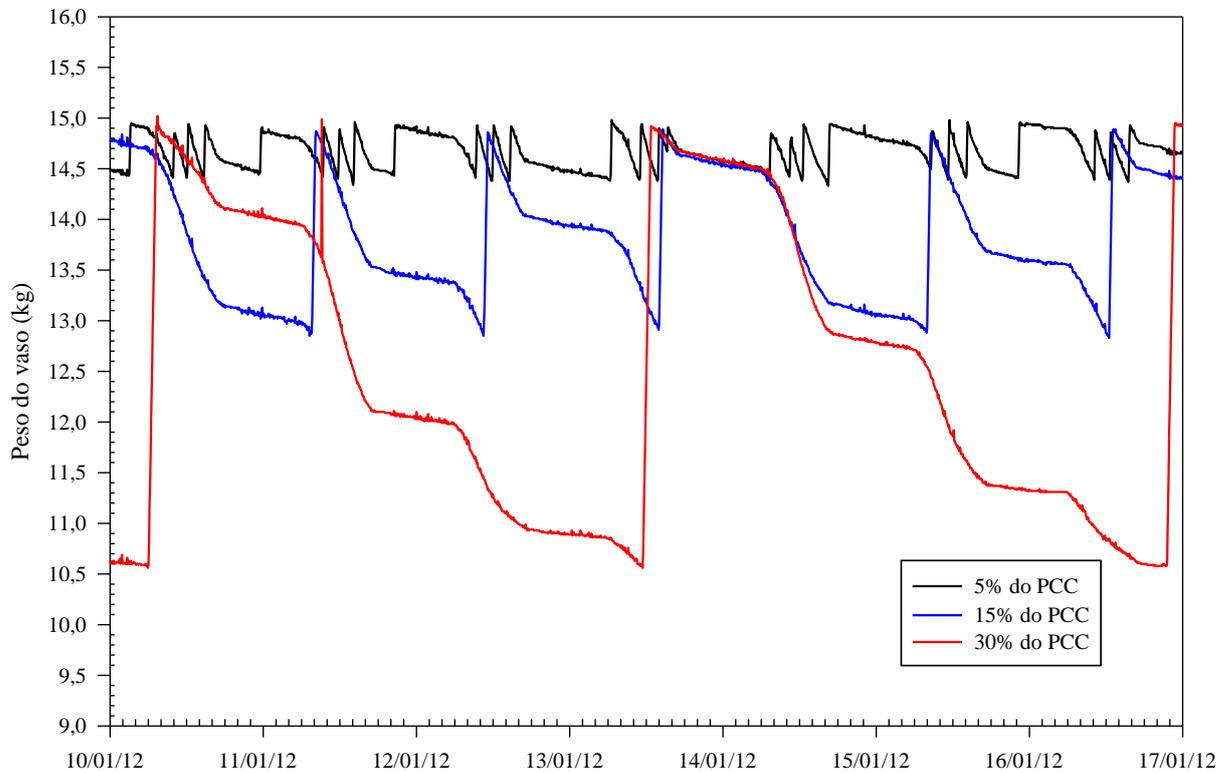
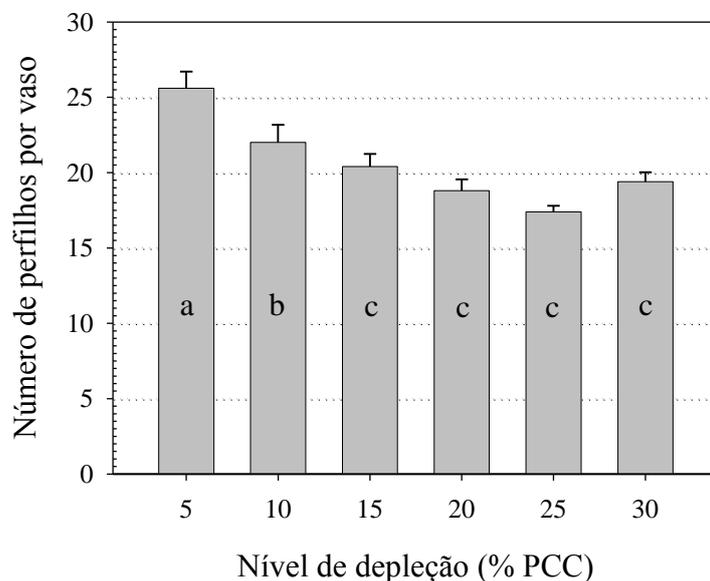


Figura 8. Número de perfílios emitidos por vaso em função do nível de depleção de água no substrato. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knot a nível de 5% de probabilidade.



6 CONCLUSÕES

O minilímetro de pesagem proposto, quando calibrado, permite medir com precisão o consumo de água de plantas cultivadas em recipientes.

A versatilidade do equipamento aliado ao baixo custo de construção faz desse sistema uma excelente alternativa para o monitoramento da irrigação de cultivos em recipientes, tanto em nível de experimentação, quanto a nível comercial, após algumas adaptações.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M.; MARTÍNEZ-HERRERO, M.D.; MARTÍNEZ-GARCÍA, P.F.; MARTÍNEZ-CORTE, J. Evaluación agronómica de los substratos de cultivo. **Actas de Horticultura**, Córdoba, v.11, p.141-154, 1992.

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

CADAHÍA LÓPEZ, C. **Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales**. 2.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 475p.

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. 67p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FERNANDES, C.N.V.; AZEVEDO, B.N. de; VIANA, T.V.A.; BONFIM, G.V. do; MESQUITA, J.B.R. de. Instalação e calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.2, p.251-263, 2012.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. **History of lysimeter design and use for evaporation**. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: ASCE, 1991. p. 1-9.

KHAN, B. R.; MAINUDDIN, M.; MOLLA, M. N. Design, construction and testing of a lysimeter for a study of evapotranspiration of different crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 23, p. 183-197, 1993.

LEMAIRE, F.; DARTIGUES, A.; RIVIÉRE, L.M. CHARPENTIER, S. **Cultures en pots at conteneurs: principes agronomiques et applications**. Paris: INRA/PHM Revue Horticole, 1989. 184p.

MILNER, L. **Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos**. In: FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, C.A.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2002. p.45-51. (IAC. Documentos, 70).

QUAGLIA, L. **Calibração de um lisímetro de pesagem para monitoramento da evaporação do solo sem cobertura vegetal**. 2005. 104p. (Dissertação de Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SCHNEIDER, A.D.; HOWELL, T.A.; MOUSTAFA, A. T. et al. A simplifield weighing lysimeter for monolithic soil or reconstructed soils. **Transactions of the ASAE**, v.14 n.3,p. 267-273, 1998.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise de funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-8, 1999.