
NOTA TÉCNICA:**DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE NÍVEL CAPACITIVO PARA USO NO IRRIGÂMETRO**

Paulo Raimundo Pinto¹, José Helvecio Martins², Rubens Alves de Oliveira³, Paulo Marcos de Barros Monteiro⁴

RESUMO

Neste trabalho teve-se como objetivo desenvolver um sensor de nível capacitivo para uso no tubo de alimentação do Irrigâmetro, a fim de controlar automaticamente equipamentos de irrigação. O Irrigâmetro é um aparelho evapo-pluviométrico desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa para ser utilizado no manejo da irrigação. Para a calibração do sensor usado na medição do nível de água no tubo de alimentação do Irrigâmetro, foi utilizada a escala impressa no próprio tubo, graduada de 0 a 44 mm de lâmina de água, e a correspondente corrente na saída (mA) obtida por meio do sensor de nível capacitivo implementado, obtendo-se um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,9998, mostrando ótima correlação entre o sensor e a escala padrão utilizada.

Palavras-chave: sensor de nível, manejo da água de irrigação, capacitância

ABSTRACT**DEVELOPMENT OF A CAPACITIVE LEVEL-SENSOR FOR USE WITH THE “IRRIGÂMETRO”**

The aim of this work was develop a capacitive level-sensor for use in the feed tube to the “Irrigâmetro” to automatically control equipment for irrigation. The “Irrigâmetro” is an evapo-pluviometric apparatus recently developed at the Federal University of Viçosa to be used in irrigation water management For the sensor calibration used in measuring of the water level in the Irrigâmetro feed tube was used the print scale on the tube, graduated from 0 to 44 mm of water sheet, and corresponding to output current (mA) obtained through capacitive level-sensor implemented, resulting in a coefficient of determination (r^2) equal to 0.9998, showing a good correlation between the sensor and standard scale used.

Keywords: capacitive level-sensor, irrigation water management, capacitance

Recebido para publicação em 21/07/2008. Aprovado em 08/10/2010.

1- Eng. Eletricista, MS., Doutorando em Eng. Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), ppinto04@yahoo.com.br

2- Eng. Agrícola, Prof. Titular, Depto de Eng. Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), jhmartins@ufv.br

3- Eng. Agrícola, Prof. Eng. Agrícola, DEA, UFV, 36570-000, Viçosa (MG), rubens@ufv.br

4- Eng. Eletricista, Prof. Depto de Eng. Automação, DECAT, UFOP, Ouro Preto (MG), paulo@em.ufop.br

INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento da população mundial vem exigindo da agricultura uma grande tecnificação a fim de que sejam produzidos alimentos em maiores quantidades e de melhor qualidade. A técnica de irrigação é uma ferramenta fundamental para o aumento da produtividade das culturas, pois compensa as irregularidades das chuvas e expande as fronteiras agrícolas para as regiões áridas e semiáridas de todo o mundo.

Um bom programa de irrigação pode beneficiar uma cultura de vários modos, aumentando sua produtividade, permitindo maior eficiência no uso de fertilizantes e a elaboração de uma escala de plantio que possibilite a obtenção de duas ou mais colheitas em um só ano, na mesma área, ou seja, uso intensivo do solo, além de introduzir culturas de maior valor agregado, que proporcionam maior retorno econômico aos produtores (BERNARDO *et al.*, 2006).

No Brasil, a agricultura irrigada consome cerca de 65% da água captada nos mananciais para atendimento das diversas atividades humanas. Na maioria das áreas irrigadas, é comum observar ausência de manejo racional da água, resultando em aplicação excessiva com desperdício de água e energia ou em deficiência hídrica para as plantas, com baixa produtividade e prejuízos econômicos ao produtor. Práticas adequadas de irrigação contribuem para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos agrícolas, para minimizar o uso de água e preservar os recursos hídricos (OLIVEIRA, 2006).

O manejo da irrigação consiste em determinar o momento de irrigar e o tempo de funcionamento de um equipamento de irrigação, ou sua velocidade de deslocamento, com a finalidade de aplicar a quantidade de água necessária ao pleno desenvolvimento da cultura.

Uma equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa - UFV desenvolveu um aparelho denominado Irrigâmetro para uso no manejo da água de irrigação. A patente do aparelho está depositada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI em nome da Universidade Federal de Viçosa. O Irrigâmetro

é um aparelho evapo-pluviométrico que aglutina a ciência relacionada ao manejo da irrigação no que se refere às características da cultura, do solo, do clima e do sistema de irrigação, visando a otimizar o uso da água na agricultura irrigada (TAGLIAFERRE, 2006).

Neste trabalho teve-se como objetivo desenvolver um sensor de nível capacitivo para uso no tubo de alimentação do Irrigâmetro, a fim de controlar automaticamente equipamentos de irrigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos laboratórios de Instrumentação Eletrônica, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto, Cefetop, MG.

O tubo de borbulhamento, inserido no tubo de alimentação, é aberto à atmosfera e mantém constante o nível da água no interior do evaporatório, na mesma cota de sua extremidade inferior. No evaporatório, a água se encontra livremente exposta à atmosfera, sujeita aos efeitos dos elementos climáticos. Com a evaporação, o nível da água no interior do evaporatório se abaixa ligeiramente, sendo restituído pelo deslocamento de água proveniente do tubo de alimentação, provocando o rebaixamento do nível da água no interior deste tubo.

Esse rebaixamento é o indicador do momento de irrigar, da quantidade de água evapotranspirada e do tempo de funcionamento, ou da velocidade de deslocamento do sistema de irrigação. Para medição desse nível de água, foi adaptada no Irrigâmetro uma placa de alumínio flexível, de modo a se moldar ao contorno do tubo de alimentação. A placa de alumínio, juntamente com um fio de cobre instalado na base do tubo de alimentação e a coluna de água compõem uma célula capacitiva, cuja capacitância variará diretamente com o nível da água.

Um fio de cobre esmaltado, quando imerso em água com uma das extremidades isolada, torna-se um capacitor (CARNEIRO *et al.*, 2007). O cobre e a água funcionam como placas e o revestimento esmaltado do fio funciona

como dielétrico. O conjunto forma, então, um capacitor cilíndrico, cuja capacitância é variável com o nível de água e pode ser obtida por meio da Equação 1.

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_0 - k \cdot d}{\ln\left(1 + \frac{e}{r}\right)} \quad (1)$$

em que,

C = capacitância, pF;

k_0 = constante dielétrica do vácuo ($8,858 \times 10^{-2}$ pF cm^{-1});

K = constante dielétrica do esmalte em relação à do vácuo, pF cm^{-1} ;

d = nível de água a partir da extremidade do fio, cm;

e = espessura do esmalte, cm; e

d = raio do fio de cobre, cm.

O sensor de nível de água é, então, formado pela célula capacitiva que utiliza o princípio da mudança de capacitância causada pela variação do nível de água entre o eletrodo e a parede do reservatório (THOMAZINI, 2005). Um circuito oscilador, um circuito conversor de frequência para tensão e componentes eletrônicos periféricos converte o volume de água instantâneo em um sinal de tensão elétrica diretamente proporcional. O sinal de saída (tensão) do sensor de nível da água pode, finalmente, ser aplicado a uma das entradas do conversor analógico digital, interno ao microcontrolador, constituindo, então, a medição do nível da água no tubo de alimentação. Na Figura 1, ilustra-se o circuito básico para o sensor de nível capacitivo.

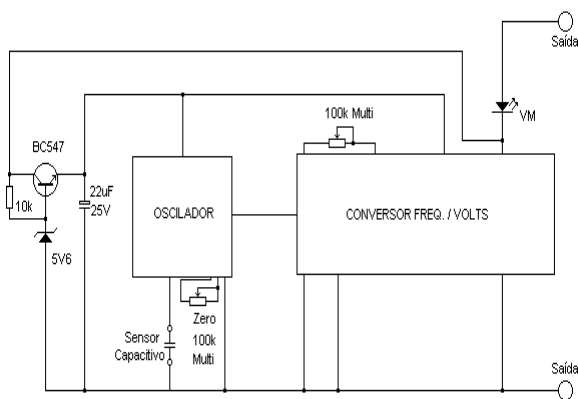


Figura 1. Circuito básico do sensor de nível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a calibração do ID usado na medição do nível de água no tubo de alimentação do Irrigâmetro, foram utilizadas a escala impressa no próprio tubo, graduada de 0 a 44 mm de lâmina de água, e a correspondente corrente na saída (mA), obtida por meio do sensor de nível capacitivo implementado. O circuito básico para o sensor de nível (Figura 11) foi ajustado para apresentar em sua saída um sinal de 20 mA para o máximo de coluna de água (0 mm no tubo de alimentação) e 4 mA para o mínimo de coluna de água (44 mm no tubo de alimentação). A escolha do sinal de saída em mA deveu-se ao fato de sinais de corrente não sofrerem o efeito da queda de tensão na fiação, nas conexões elétricas e nos demais elementos do circuito, tornando-se imune a interferências externas, como, por exemplo, sinais de radiofrequência e, ou, descargas atmosféricas. Com o sinal de corrente, o sensor mantém a corrente constante e proporcional à variável do processo (nível de coluna de água).

Com o ajuste de 4 mA como valor mínimo a ser transmitido, pode-se, seguramente, garantir que qualquer sinal abaixo de 4mA indique haver algum problema no sensor ou no circuito eletrônico ou na linha de transmissão (um sinal igual a zero, por exemplo, pode ser um indicativo de que a linha de transmissão foi interrompida).

A corrente de saída do sensor (mA) circula por um resistor de 250 Ω , instalado na entrada do conversor analógico digital, CAD, do microcontrolador, transformando-se em um sinal de tensão de 1 a 5 V. Para leitura dos valores obtidos pelo CAD interno do microcontrolador, utilizou-se de uma placa eletrônica, desenvolvida nos laboratórios do Cefet/Ouro Preto, para a comunicação com um computador pessoal, o que possibilitou leituras automáticas e em tempo real com resolução de 10 bits, ou seja, leituras convertidas em tensão (V) com intervalos de até 0,0049 V.

No Quadro 1 estão apresentadas as leituras feitas diretamente no tubo de alimentação e os respectivos valores de tensão (V), obtidos por meio do sensor de nível.

Quadro 1. Leituras no tubo de alimentação e no sensor de nível capacitivo

Lâmina de água (V)	Sensor de nível capacitivo (mm)
1,1136	36,00
1,2216	35,00
1,3295	34,00
1,4375	33,00
1,4550	32,00
1,6534	31,00
1,7614	30,00
1,8693	29,00
1,9773	28,00
2,0852	27,00
2,1932	26,00
2,3011	25,00
2,4091	24,00
2,5170	23,00
2,6250	22,00
2,7330	21,00
2,8409	20,00
2,9489	19,00
3,0568	18,00
3,1648	17,00
3,2727	16,00
3,3807	15,00
3,4886	14,00
3,5966	13,00
3,7045	12,00
3,8125	11,00
3,9205	10,00
4,0284	9,00
4,1364	8,00
4,2443	7,00
4,3523	6,00
4,4602	5,00
4,5682	4,00
4,6761	3,00
4,7841	2,00
4,8920	1,00
5,0000	0,00

A equação que melhor se ajustou aos dados experimentais foi uma reta, definida pela Equação 2, com um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,9998, mostrando uma ótima correlação entre o ID e a escala padrão utilizada.

$$y = -9,236 \cdot x + 46,21 \quad (2)$$

em que,

y = Lâmina de água no tubo de alimentação do Irrigâmetro, mm e

x = Tensão elétrica obtida na saída do sensor de nível, V.

Na Figura 2 apresenta-se a comparação dos dados experimentais e os estimados pela equação ajustada. Observa-se que, praticamente, não houve dispersão dos dados. Portanto, a equação de primeiro grau pode ser utilizada para estimar com precisão satisfatória o nível de água no tubo de alimentação, proporcionando fácil implementação computacional.

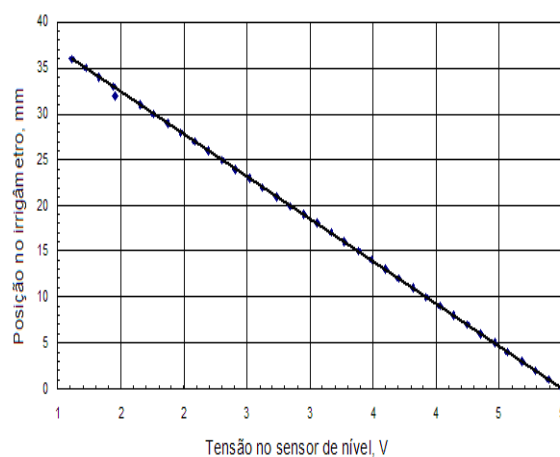


Figura 2. Comparação entre as leituras diretas no tubo de alimentação do Irrigâmetro e a tensão na saída (V) do sensor de nível capacitivo

Testes realizados com tipos de água diferentes no reservatório do Irrigâmetro comprovaram que, estando a água de uso comum filtrada, sua composição química e sua temperatura não interferiram no funcionamento do sensor.

CONCLUSÕES

- O sensor de nível capacitivo desenvolvido mostrou ser confiável, comprovando um desempenho melhor quando o tubo de alimentação do Irrigâmetro estava com pelo menos 20% de água em seu interior;
- O baixo custo dos componentes eletrônicos

utilizados nesse trabalho, junto aos resultados obtidos nos testes de laboratório viabilizam a utilização do sensor de nível capacitivo não só no Irrigâmetro mas em várias aplicações onde se deseja medir o nível de líquidos principalmente quando se utiliza em pequenos reservatórios, visto que os sensores de nível disponíveis no mercado são de alto custo e não se aplicam para pequenos reservatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S., SOARES, A.A., MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. Ed. Viçosa: Imprensa Universitária. 2006. 625p.

CARNEIRO, C.J.G.; LIRA, C.A.B.O. e SOBRINHO, J.A.M. **Sensor capacitivo para medição do nível de água**. Disponível via URL: <http://atlas.sct.embrapa>.

br. Consulta em junho de 2007.

OLIVEIRA, R.A. e TAGLIAFERRE, C. **Ambiente Protegido: Olericultura, Citricultura e Floricultura, Capítulo 3 – Irrigâmetro: Nova Tecnologia para Manejo da água de Irrigação**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, editores Tiago Cavalheiro Barbosa et al., 2006. 194p.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do Irrigâmetro e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006a, Tese de Doutorado. 112 páginas.

THOMAZINI, D., ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2005. 171 páginas.