

SENSOR CAPACITIVO PARA INSTRUMENTAÇÃO DE ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO IN LOCO**IGOR SANTOS DE MELO¹; MARINALDO FERREIRA PINTO²; CONAN AYADE SALVADOR²**

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Depto. de Engenharia, Instituto de Tecnologia, UFRRJ, Seropédica- RJ, Fone: (0XX21) 3404-8033. E-mail: isd.melo96@gmail.com

² Eng^o Agrícola, Professor Adjunto, Depto. de Engenharia, IT/UFRRJ, Seropédica-RJ.

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: A condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) trata-se de uma propriedade físico-hídrica relevante ao estudo do movimento de água no solo, com uso no dimensionamento de sistemas de drenagem. A automação parcial da metodologia de determinação do K_o em campo, com desenvolvimento de um sensor capacitivo, possibilitaria redução laboral, além de custo e tempo operacional. O objetivo do trabalho foi desenvolver um sensor capacitivo que permita posterior automação parcial do ensaio de determinação do K_o . Foi confeccionada duas hastes de medição de PVC, com 32 mm e 25 mm de diâmetro nominal, contendo internamente sensor com princípio de medição capacitiva, para detecção do nível de água no poço. Utilizou-se placa microcontroladora Arduino Nano, responsável pela medição e processamento dos dados, com linguagem de programação em C++. Os sensores foram comparados mediante a amplitude da capacitância gerada, sendo posteriormente realizado, teste de estabilidade do sinal e a obtenção da equação de calibração. Os resultados obtidos comprovaram maior amplitude da capacitância para o tubo de 32 mm, além de apresentar estabilidade do sinal de resposta do sensor para leitura contínua e discreta aceitável, se mostrando eficaz para uso na instrumentação, atingindo o objetivo proposto.

PALAVRAS-CHAVE: arduino, auger hole, drenagem

CAPACITIVE SENSOR FOR INSTRUMENTATION OF THE TEST TO DETERMINATE THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF THE SATURATED SOIL ON SITE

ABSTRACT: The hydraulic conductivity of saturated soil (K_o) is a physical-hydraulic property relevant to the study of water movement in the soil, with use in the design of drainage systems. A partial automation of the field determination methodology of K_o , with the development of a capacitive sensor, would reduce labor, in addition to cost and operational time. The objective of the work was to develop a capacitive sensor for posterior partial automation of the K_o determination test. Two PVC rods, with 32 mm and 25 mm of nominal diameter were made, containing an internal sensor with capacitive principle, to detect water level in the well. An Arduino Nano microcontroller was responsible for the measurement and data processing, with C++ programming language. The sensors were compared using the amplitude of the generated capacity, and later, a signal stability test were made and a calibration equation was obtained. The results obtained demonstrated a greater capacitance amplitude for the 32 mm tube, besides showing continuous and discrete signal reading of the sensor with acceptable stability, proving to be effective for use in instrumentation, reaching the proposed objective.

KEYWORDS: arduino, auger hole, drainage

INTRODUÇÃO: A condutividade hidráulica do solo saturado possui papel fundamental no estudo, planejamento, e manejo dos recursos hídricos, sendo essencial a proteção do meio ambiente, assim como na otimização de projetos de engenharia (ALMEIDA et al., 2017). Dentre suas aplicações, o uso no dimensionamento e avaliação de sistemas de drenagem é um dos mais conhecidos. Dos diversos métodos utilizados para sua determinação, o método do poço, também denominado Auger Hole, é um método de campo amplamente aplicado por engenheiros e pesquisadores. Apesar da consistência da metodologia convencional, erros operacionais podem levar a resultados com maior incerteza, além dos procedimentos técnicos envolvidos não favorecerem sua repetição, pois são complexos e morosos, elevando os custos envolvidos (GUBIANI et al., 2010). Com o avanço das plataformas eletrônicas open-source, como o Arduino, pesquisadores de diversos campos da engenharia puderam realizar projetos em seu campo de pesquisa, possibilitando a execução de trabalhos mais fiéis a suas propostas, com estabilidade das condições de operação, otimização do tempo e redução de falhas humanas, proporcionando redução da incerteza (CUNHA e ROCHA, 2015; ARDUINO, 2020). Aliado a isso, o desenvolvimento de sensores robustos e de custo acessível, como tem se mostrado os sensores capacitivos, facilitam a adoção de mecanismos de medição com alta precisão, e de fácil construção. Portanto, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver um sensor com princípio de medição capacitiva, capaz de mensurar de forma contínua a variação do nível do lençol freático em ensaio de campo de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, utilizando materiais facilmente disponíveis no mercado.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Drenagem e no Laboratório de Automação e Controle de Sistemas Agrícolas, ambos do Departamento de Engenharia, pertencente ao Instituto de Tecnologia da UFRRJ, situados no município de Seropédica - RJ. Inicialmente, elaborou-se a composição estrutural do sensor capacitivo, de modo que as placas do capacitor foram confeccionadas com o uso de materiais metálicos devidamente isolados, com capacitância variável com o nível da água, no qual a camada isolante funcionou como o dielétrico do capacitor. Foram idealizados e construídos dois sensores com tubos de PVC de diâmetros nominais de 32 e 25 mm, com 50 cm de comprimento. Foi efetuado um corte longitudinal por sensor, de 1 cm e 0,5 cm do perímetro inicial, respectivamente, visando facilitar a entrada de água no mesmo. Ressalta-se, ainda, a possibilidade de acesso da água através da extremidade inferior do sensor. Fixou-se no interior de cada tubo de PVC um cilindro de alumínio parcialmente aberto, de forma análoga ao do tubo, contendo barras transversais de borracha cilíndricas, acopladas a 1 cm de suas extremidades. Um fio de cobre esmaltado (23 AWG) com uma das extremidades isoladas, foi esticado e enrolado entre as duas barras transversais contidas em cada sensor, contando com 4 e 3 voltas do fio, respectivamente, espaçadas cerca de 0,5 cm cada volta. Para verificar a capacitância gerada em cada protótipo, construiu-se um reservatório com tubo de PVC com 100 mm de diâmetro nominal e 60 cm de comprimento, cuja extremidade basal foi acoplada um cap. Dois furos foram executados no cap, sendo um para o abastecimento/drenagem, realizado através de uma válvula de 3 vias conectada a um outro reservatório responsável pela adução; e outro para verificação do nível interno da água no reservatório. Durante o ensaio foi inserido cargas hidráulicas de 0 a 45 cm.c.a., com intervalos de 5 cm.c.a., sendo realizada 3 repetições em cada sensor. Empregou-se água filtrada da rede de abastecimento, nos ensaios em laboratório. Um multímetro digital (Minipa, modelo ET-1659) com função de leitura da capacitância foi utilizado nessa etapa. Após a seleção do protótipo de maior capacitância, realizou-se a etapa de calibração do sensor capacitivo, na qual se inseriu cargas hidráulicas variando de 0 a 46 cm.c.a., com a adição de 2 cm.c.a. entre leituras, sendo realizado 5 repetições. Para obtenção da equação de calibração realizou-se a regressão dos dados medidos nos ensaios, observando o modelo de melhor ajuste. Para isso, o sensor desenvolvido foi

conectado a um microcontrolador Arduino Nano versão 3.0, responsável principalmente pela aquisição e processamento dos dados, por uma porta de 5V e uma porta analógica de dreno. Utilizou-se o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino para realizar a programação, com linguagem em C++, a fim de realizar a aquisição das leituras. A estabilidade do sinal de resposta do sensor, com aquisição de dados de forma contínua e discreta, foi avaliada em ensaios de laboratório. O ensaio de leitura contínua foi conduzido simulando diferentes taxas de ascensão do nível da água (0,61; 0,44; 0,14 mm s⁻¹), sendo realizada 3 repetições para cada uma das taxas testadas. Salienta-se que o reservatório de abastecimento teve seu nível mantido constante ao longo do ensaio. Já no ensaio de leitura discreta, se inseriu cargas hidráulicas de 5 em 5 cm.c.a., de 0 a 35 cm.c.a., com aquisição do sinal de resposta por 60 s, sendo realizada também 3 repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Para que fosse obtido o sensor com maior sensibilidade a variação do nível de água, e que, portanto, expressasse maior capacitância, foi realizada a verificação da faixa de medição dos sensores propostos (Figura 1A). Posteriormente, efetuou-se a calibração do sensor escolhido, visando obter a equação que correlacionava a carga hidráulica na haste sensora com a capacitância gerada (Figura 1B).

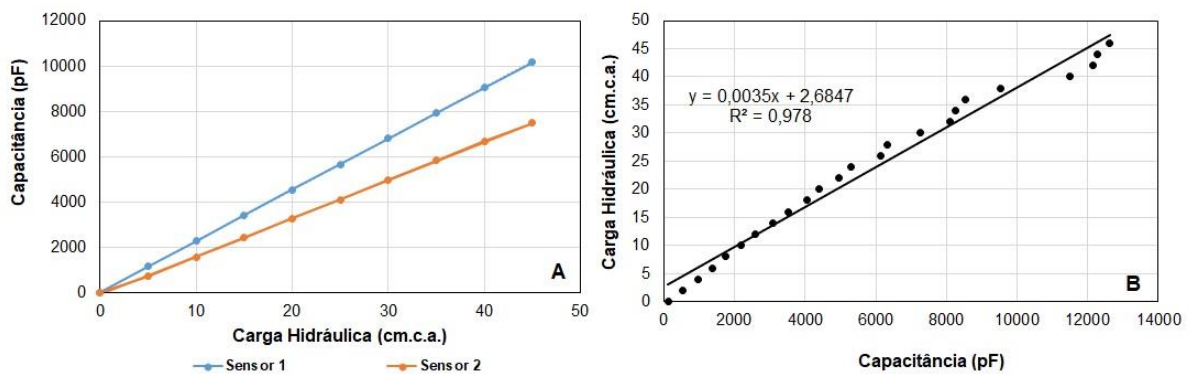


FIGURA 1. Capacitância gerada pelo aumento da carga hidráulica de contato no sensor capacitivo 1 e 2 (A); sinal de resposta do sensor selecionado (B).

Verifica-se na Figura 1A que o sensor 1 (com 32 mm de diâmetro nominal e 4 voltas de fio de cobre) proporcionou maior capacitância para todos os níveis avaliados. Tal resultado justifica-se pela ampliação do tamanho do capacitor com o aumento no número de fios de cobre esmaltado esticados no sensor 1 (maior área de contato com a água). De acordo com STARLING e SILVA (2008), sensores capacitivos que usam o mesmo princípio de funcionamento, podem ter incerteza reduzida nas medições conforme aumento do diâmetro do fio esmaltado e do número de espiras do arranjo. Na Figura 1B, percebe-se que o modelo linear descreve a resposta do sensor à variação de carga hidráulica, o que possibilitou a obtenção de um coeficiente de determinação próximo da unidade, resultado também obtido por CARNEIRO et al. (1997) ao se avaliar sensores capacitivos com uma espira. Cada ponto do gráfico representa o valor médio de 5 repetições, cada qual obtida de um valor médio de 1000 leituras. Maior variabilidade dos dados foi observada a partir de 28 cm.c.a., com desvio padrão máximo de 444,12 pF e coeficiente de variação de 4,6% para 38 cm.c.a. Nas Figuras 2A e 2B, podem ser constatadas a estabilidade do sinal de resposta do sensor para leituras contínuas com diferentes velocidades de ascensão da carga hidráulica e, leituras discretas.

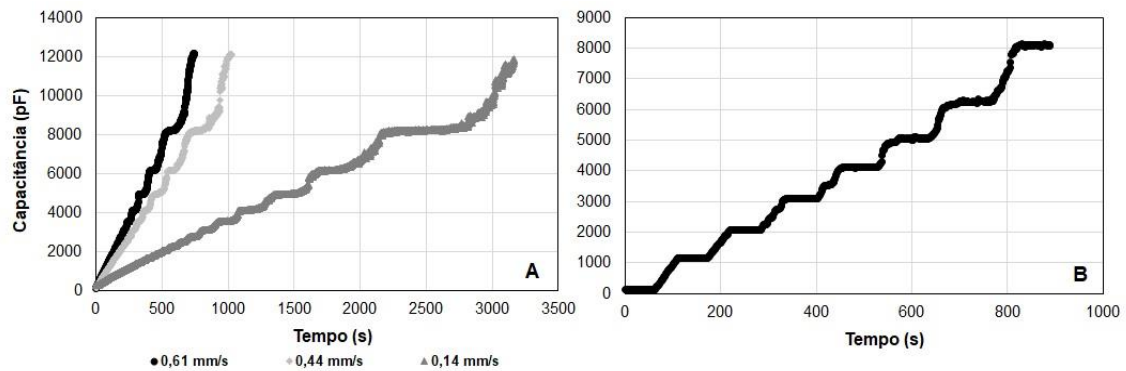


FIGURA 2. Estabilidade do sinal de resposta do sensor capacitivo para leitura contínua em diferentes taxas de ascensão (A), e para leitura discreta a cada 5 cm.c.a. (B).

Na Figura 2A, pode-se verificar que a partir de um certo valor de carga hidráulica o sinal de resposta do sensor foi sinuoso, para todas as velocidades de ascensão de carga hidráulica avaliadas. Constatou-se também que a sinuosidade do sinal de resposta era ampliada com o aumento da capacitância no capacitor. Com isso, supõem-se que a redução do tamanho do capacitor pode reduzir esse efeito. Na Figura 2B, é possível observar que o sinal de resposta do sensor proposto se manteve estável nas capacitâncias equivalentes as cargas hidráulicas avaliadas. Contudo, pode-se perceber que com o aumento de carga hidráulica houve uma redução na estabilidade do sinal do sensor.

CONCLUSÕES: Pode-se concluir que o sensor capacitivo proposto, com 32 mm de diâmetro nominal e 4 espiras do fio de cobre, proporcionou maior amplitude de capacitância para detecção da carga hidráulica, mostrando-se adequado para instrumentação de ensaios de campo para determinação do K_o . Contudo, estudos adicionais devem ser realizados visando aprimorar a estabilidade de leitura, ou mesmo para indicação de tamanho útil do capacitor.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao CNPq e a UFRRJ, pela concessão da bolsa de iniciação científica e pela estrutura cedida para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K.S.S.A.; SOUZA, L.S.; PAZ, V.P.S.; SILVA, F.T.S.; SANTOS, D.N.; PEREIRA, J.S.L. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em latossolo amarelo distrocoeso, no município de Cruz das Almas. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 259-274, 2017.
- ARDUINO. **Introduction: what is arduino? why arduino? how do i use arduino?**. Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> >. Acesso em: mar de 2020.
- CARNEIRO, C.J.G.; LIRA, C.A.B.O.; MENDES SOBRINHO, J.A.; ANTONINO, A.C.D.; MELLO, F.L.V. Sensor capacitivo para medição do nível de água. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.6, p.617-620, 1997.
- CUNHA, K.C.B.da; ROCHA, R.V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, 2015.
- GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; GELAIN, N.S.; MINELLA, J.P.G. Permeômetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.993-997, 2010.
- STARLING, A.N.; SILVA, C.J.G.C. Sistema capacitivo para medição de nível da água. **Educação & Tecnologia**, Belo Horizonte, v. 13, n. 1, p.25-31, 2008.