

DISPOSITIVO SEMIAUTOMÁTICO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO EM ENSAIOS DE CAMPO

Igor Santos de Melo¹; Hugo de Carvalho Ricardo²; Angelo Tiago Azevedo¹; Marinaldo Ferreira Pinto³; Conan Ayade Salvador³

¹ Graduando (a) 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 e Ambiental, Mestrando, Depto. Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

³ Eng^o Agrícola, Professor Adjunto, Depto. de Engenharia, IT/UFRRJ, Seropédica-RJ.

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: A condutividade hidráulica do solo saturado é uma propriedade cuja quantificação é essencial para o dimensionamento e simulação de sistemas de drenagem. A adoção de um dispositivo semiautomático na determinação em campo possibilitaria a redução do trabalho, tempo e custo envolvido. O objetivo do trabalho foi desenvolver um dispositivo semiautomático para a aquisição e armazenamento de dados do ensaio de determinação em campo da condutividade hidráulica do solo saturado. Confeccionou-se uma haste de medição de PVC, diâmetro nominal de 12 mm, e um transdutor de pressão (modelo MPX 5010DP) para detecção da variação de nível da água no poço, instalado na sua extremidade superior. O circuito eletrônico é constituído por uma placa microcontroladora Arduino UNO, um display, e botões de acionamento, responsável pela aquisição das medições via sensor e interface de interação com o usuário. O microcontrolador foi programado em Linguagem C/C++, e permitia a determinação do valor da condutividade hidráulica em $m\ d^{-1}$ ao término do ensaio. Posteriormente, testou-se o funcionamento do dispositivo em ensaio de campo simulado em laboratório, possibilitando a verificação de falhas e o ajuste das mesmas. Os resultados obtidos comprovaram o potencial de utilização do dispositivo desenvolvido em ensaios de campo.

PALAVRAS-CHAVE: automação, drenagem, auger hole

SEMIAUTOMATIC DEVICE FOR THE DETERMINATION OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF SATURATED SOIL IN FIELD TESTS

ABSTRACT: The hydraulic conductivity of the saturated soil is a property whose quantification is essential for the design and simulation models of drainage systems. The adoption of a semiautomatic device in the field determination would allow the reduction of work, time and cost involved. The objective of this work was to develop a semiautomatic device for the acquisition and storage of data from the field determination test of saturated soil hydraulic conductivity. A PVC measuring rod, nominal diameter of 12 mm, and a pressure transducer (model MPX 5010DP) were developed for detecting the variation of the water level in the well, installed at its upper end. The electronic circuit consists of an Arduino UNO microcontroller board, a display, and drive buttons, responsible for the acquisition of sensor measurements and user interaction interface. The microcontroller was programmed in C/C++ Language, and allowed the determination of the hydraulic conductivity value in $m\ d^{-1}$ at the end of the test. Subsequently, the operation of the device was tested in simulated field test in laboratory, allowing the verification of faults and their adjustment. The results obtained demonstrated the potential of using the device developed in field trials.

KEYWORDS: automation, drainage, auger hole

INTRODUÇÃO: A condutividade hidráulica do solo saturado tem papel notável em qualquer estudo de movimento de água, de transporte de solutos e defensivos agrícolas, bem como seus impactos ao meio ambiente (HURTADO et al., 2005). No tocante aos parâmetros físicos-hídricos do solo, ela é o mais importante no dimensionamento e na avaliação de sistemas de drenagem. Dentre os métodos utilizados para a determinação desse parâmetro destaca-se os métodos de campo como o Auger-Hole ou método do poço, sendo o de maior aceitação entre pesquisadores e engenheiros. Tal método, apesar de prover dados consistentes, apresenta algumas limitações quanto a complexidade, o custo elevado decorrente da mão de obra envolvida, tempo de execução, e, em alguns casos, o elevado número de pontos de determinação. Assim, em decorrência das constantes inovações tecnológicas, principalmente no que tange a automação, que tem como base a utilização de dispositivos eletrônicos (BRAGA, 1990) e adoção de estratégias de controle, sistemas automatizados podem assegurar estabilidade das condições de ensaio, otimização do tempo de operação, redução de falhas e imperfeições humanas, conduzindo a menor incerteza nos resultados (BOMBARDELLI et al., 2017). Além disso, torna-se possível o emprego de microprocessadores para tal finalidade, tendo em vista que são componentes compactos, de baixo custo e de fácil aquisição (IBARS, 2004). Portanto, este trabalho teve o objetivo de desenvolver um dispositivo semiautomático para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado *in loco*, buscando alcançar a simplificação da metodologia de obtenção para as suas diversas aplicações.

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 UFRJ, situados no município de Seropédica - RJ. O medidor semiautomático de condutividade hidráulica do solo saturado foi composto por uma haste para introdução no poço, construída com tubo de PVC com diâmetro nominal de 20 mm; um transdutor de pressão (Motorola, MPX 5010DP) com faixa de trabalho de 0 a 10 kPa, responsável pela leitura do nível d'água no poço; e, um dispositivo eletrônico de medição automática. Na extremidade superior da haste foi soldado um cap perfurado com uma mangueira de plástico rígido com 4 mm de diâmetro e 3 cm de comprimento, formando uma peça única, onde se acoplava o transdutor de pressão, sendo a parte inferior da haste aberta para entrada da água do solo. Além disso, na extremidade superior da haste foi fixado uma caixa de termoplástico contendo o dispositivo eletrônico e o sensor de nível d'água, protegendo-os de intempéries. O dispositivo eletrônico desenvolvido é responsável pela aquisição e processamento dos sinais analógicos emitidos pelo sensor, e pela interface de comunicação com o usuário, composta basicamente por 4 botões para o acionamento de rotinas e inserção de dados, e display LCD. Optou-se por montar o circuito eletrônico utilizando placa microcontroladora Arduino modelo UNO ser uma plataforma de hardware de código fonte aberta com comunicação serial, USB, de baixo custo, software livre e de operação facilitada (KAMOGAWA & MIRANDA, 2013). A fonte de alimentação do circuito é uma bateria recarregável de 9 V, e quando necessária, a comunicação serial entre a placa microcontroladora e um microcomputador foi realizada via cabo USB. Para essa proposta de construção, ao inserir a haste no poço o sensor realiza a medida da pressão da massa de ar interna, a qual varia com o nível da água do solo no interior do poço. A calibração do sensor foi realizada em um reservatório construído com um tubo de PVC com diâmetro nominal de 40 mm e 1,94 m de comprimento, simulando um poço. O reservatório era abastecido com água por meio de uma válvula de três vias localizada na sua base, e onde se conectava adicionalmente um tubo plástico transparente, permitindo verificar o nível interno da água. A carga hidráulica interna avaliada na calibração variou de 0 a 100 cm.c.a., com incrementos a cada 5 cm, sendo efetuado 5 repetições. Cada leitura era obtida da média de 100 valores, com aquisição a cada 1 s. A placa microcontroladora foi programada em Linguagem C/C++, e permite ao usuário acessar formulários de navegação, os quais conduzem a execução do ensaio de campo e, uma vez identificado o término conforme recomendação técnica, calcula-se o valor da condutividade hidráulica do solo saturado em $m\ d^{-1}$ e o exibe no display para visualização do usuário. Para isso, adotou-se a metodologia adaptada para a automação proposta e os modelos matemáticos elaborados por ERNST (1962) apud CRUCIANI (1987). O teste do sistema e da rotina de cálculo implementado no software embarcado foram testados para 3 valores de condutividade hidráulica simuladas em laboratório, com o uso do reservatório supracitado. Adicionalmente, considerou-se adicionalmente a carga hidráulica no poço antes do esvaziamento (H)

de cerca de 80 cm; a carga hidráulica no poço depois do esvaziamento (h) de cerca de 40 cm; o raio de poço (r) de 2 cm (considerado adequado por se tratar de uma simulação); e, que o poço estava sobre a camada impermeável, o que leva a uma equação específica para a determinação da condutividade do solo saturado. A taxa de ascensão de água foi controlada pela válvula de três vias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Buscando-se obter o modelo que correlacionava o nível de água no interior da haste de medição a leitura em bytes obtida na conversão do sinal analógico (tensão) em digital pela placa microcontroladora realizou-se uma calibração inicial abrangendo a faixa de medição do sensor. Na Figura 1 verifica-se a resposta do transdutor de pressão a variação da carga hidráulica (nível da água) no interior da haste.

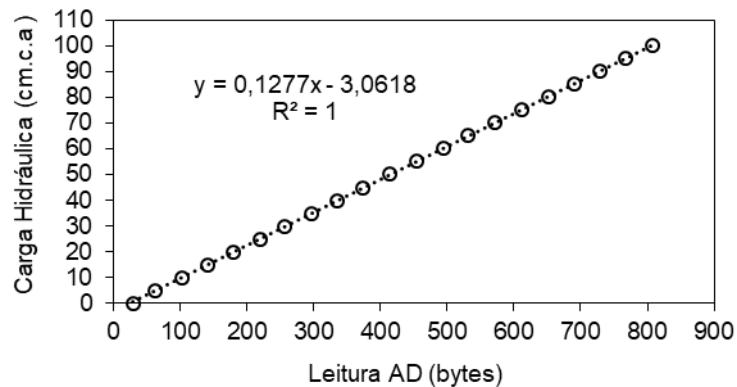


FIGURA 1. Sinal de resposta do transdutor de pressão MPX5010DP (bytes) gerado pela variação carga hidráulica (cm.c.a) no interior da haste medidora.

Percebe-se que conforme a teoria, o modelo linear descreve a resposta do sensor à variação de pressão, provocado pelo aumento da carga hidráulica no interior da haste, sendo que o modelo obtido por meio da regressão linear apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 1 para os testes realizados. Ressalta-se que cada ponto do gráfico representava o valor médio de 5 repetições, cada qual obtida de um valor médio de 60 leituras. Analisando-se os dados constatou-se que o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) com maior variabilidade dos dados foi de 1,96 bytes e de 3,11%, respectivamente. A partir da carga hidráulica interna de 5 cm.c.a, onde se observou a maior variabilidade, o CV máximo foi de 1,51% com desvios padrão de 1,07 bytes, para 10 cm.c.a. Dessa maneira, a variabilidade obtida foi considerada satisfatória para os fins pretendidos, e pode-se recomendar que na utilização do dispositivo desenvolvido a carga hidráulica no interior da haste medidora seja maior ou igual a 10 cm.c.a ao se iniciar o monitoramento da ascensão da água do solo no interior do poço. A linearidade na resposta também foi observada por MARTINS (2012) ao se realizar a calibração de transdutores de pressão aplicados em um regulador de pressão microprocessado. Os ensaios realizados com o objetivo de avaliar o funcionamento do dispositivo semiautomático e da rotina de cálculo implementado no software embarcado foram testados para 3 valores de condutividade hidráulica (0,563; 0,328; e, 0,257 $m d^{-1}$), simuladas em laboratório. Nas simulações realizadas, os valores de H lidos pelo sistema de aquisição foram de 79,12, 79,56, e 79,42 cm, evidenciando que o sistema proposto foi eficaz no controle da simulação e possibilitou leituras coerentes. Supõe-se que os desvios observados podem ter origem humana (no procedimento de controle da carga hidráulica durante a realização dos ensaios em laboratório) e do sensor de leitura. Na Figura 2 observa-se a resposta do sensor com a variação da diferença de nível para i-ésima leitura (Y_i , cm.c.a.) entre a carga hidráulica do lençol freático antes do esvaziamento do poço e a carga hidráulica atual da superfície da água no interior da haste medidora desenvolvida, no decorrer do ensaio. Após a realização dos ensaios pode-se verificar que o monitoramento contínuo de Y_i apresentou uma dispersão acentuada em alguns momentos do ensaio. Ao de avaliar o ocorrido verificou-se que ocorreu um erro no envio dos dados via comunicação serial, causando a perda de algumas informações. Tal erro, está em fase de ajuste no presente momento.

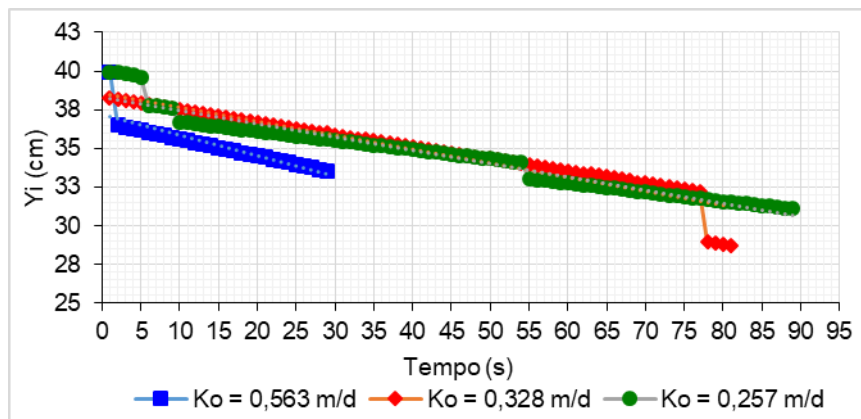


FIGURA 2. Variação da diferença de nível (Y_i , cm.c.a.) entre a carga hidráulica do lençol freático antes do esvaziamento do poço e a carga hidráulica atual no decorrer do ensaio.

Adicionalmente foi possível observar que a rotina implementada possibilitou o encerramento do ensaio no momento oportuno ($Y_n \geq \frac{3}{4} Y_o$), além de selecionar adequadamente da equação de determinação para a condição de ensaio ($S = 0$). O cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado foi executado de forma correta. Com a realização dos ajustes necessários, pode-se afirmar que o dispositivo semiautomático para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado construído tem potencial para uso nos ensaios de campo pelo método do poço (Auger-Hole).

CONCLUSÕES: Pode-se concluir que o dispositivo semiautomático proposto tem potencial para uso nos ensaios de campo pelo método do poço (Auger-Hole). Contudo, se faz necessário a finalização de ajustes no software embarcado no microcontrolador.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à UFRRJ pela participação em Programa Institucional de Iniciação Científica Voluntária e pela liberação da estrutura interna necessária a sua realização.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, N.C. *Curso básico de eletrônica*. São Paulo: Saber, v.1, 1990. 140p.
- BOMBARDELLI, W.W.A.; CAMARGO, A.P.; LAVANHOLI, R.; ARAUJO, A.C.S.; TALAMINI JUNIOR, V.; FRIZZONE, J.A. Projeto e validação de uma bancada para ensaios de perda de carga localizada. *Revista Irriga*, Edição Especial, Irriga & Inovagri, p. 1-10, 2017.
- CRUCIANI, D.E. *A drenagem na agricultura*. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1987. 337p.
- ERNST, L.F. *Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen*. Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen 67-15. PUDOC, Wageningen, 1962. 189 p.
- HURTADO, A.L.B.; CICHOTA, R.; JONG van LIER, Q. Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.301–307, 2005.
- IBARS, R.A.F. *Desenvolvimento e avaliação de tubos Venturi para medição de vazão*. 2004. 61p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- KAMOGAWA, M.Y.; MIRANDA, J.C. Uso de hardware de código fonte aberto “arduino” para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo. *Química Nova*, v.36, n.8, p.1232–1235, 2013.
- MARTINS, L.L. *Desenvolvimento de um regulador de pressão microprocessado*. 2012. 69p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.