

**CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR CAPACITIVO E MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO ATRAVÉS DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO**

*Leonardo Brito Santiago Silva (leosantiago@ufrj.br)*

*Marcos Bacis Ceddia (marcosceddia@gmail.com)*

*Luiz Carlos Gomes (luiz.sacramento@cefet-rj.br)*

*Cristiano De Souza De Carvalho (cristianosc13@gmail.com)*

A umidade do solo é uma variável fundamental no sistema terrestre, pois controla a troca de água e energia entre a superfície terrestre e a atmosfera, mas existe certas dificuldades em monitorá-lo em diferentes profundidades. Diversas técnicas têm sido empregadas para estimar a umidade, destacando-se aquelas baseadas em princípios eletromagnéticos (como a constante dielétrica, capacitância, e resistência elétrica do solo), que permitem medições em diferentes profundidades e facilitam a transmissão sem fio dos dados e auxiliando em tomadas de decisão, mas sensores eletromagnéticos utilizados no Brasil são todos desenvolvidos em outros países (importados), o que acarreta custos bastante elevados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de um sensor capacitivo de alta frequência (HFC) para monitorar a umidade do solo, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em água e solos (GASA-UFRRJ). Para avaliar a sensibilidade e acurácia do sensor, foi realizada a calibração em laboratório com vasos de 4,1 L preenchidos com diferentes tipos de solo (constituição orgânica, textura de Areia-franca e Argilo-arenosa). Ao todo, foram montados 8 vasos de monitoramento (quatro tipos de solo e

duas repetições). Cada vaso foi preenchido com os referidos solos e em cada um deles foi colocado um tubo de acrílico para permitir que o elemento sensor fizesse leituras sem contato direto com o solo. Em cada vaso, foi calculado a densidade do solo para converter umidade gravimétrica ( $U_g$ ) em umidade volumétrica ( $\Theta$ ). Cada vaso foi colocado sobre uma balança (modelo: US 31/2 POP-S) com capacidade para 31 quilos para monitoramento da variação do peso conforme variou-se o teor de umidade do solo ( $U_g$ ). Determinou-se a tensão elétrica (multímetro-modelo: ET-2402B) em diferentes condições de umidade de solo. Iniciou-se o monitoramento medindo a tensão elétrica do solo na condição de TFSA (umidade residual), em seguida, efetuou-se sucessivas leituras conforme o solo ia sendo umedecido até atingir a sua saturação (curva de sorção). Após a saturação, deixou-se o solo secando e efetuou-se sucessivas leituras de tensão elétrica, gerando uma curva dessorção. Ao fim, para cada tipo de solo, gerou-se curvas de sorção e dessorção ( $\Theta \times$  Tensão elétrica) permitindo avaliar a acurácia considerando o efeito histerésico. Para cada curva ajustou-se modelos da estimativa de umidade a partir da tensão elétrica. A acurácia dos modelos foi avaliada através das seguintes métricas: RMSE (Raiz quadrado do erro médio), SD (desvio padrão), MAE (erro médio absoluto),  $R^2$  e MSE (erro quadrático médio). Com exceção do solo de constituição orgânica, para o qual ajustou-se um modelo polinomial de ordem 2, os demais solos minerais apresentaram um modelo linear que relaciona umidade e tensão. Os resultados obtidos da calibração dos solos em condição de laboratório com diversas classes texturais em função do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e raiz do erro quadrático médio (RMSE), foram: Areia franca obteve  $R^2 = 0,93$  e  $RMSE = 0,0204$ ; Argila-arenosa (1)  $R^2 = 0,95$  e  $RMSE = 0,0187$ ; Argila-arenosa (2)  $R^2 = 0,90$  e  $RMSE = 0,0362$ , e por último, orgânico  $R^2 = 0,92$  e  $RMSE = 0,0400$ . Em todos os casos, os modelos apresentaram  $R^2 \geq 0,90$  (0,90 a 0,95) e com MAE entre 1,6 a 3,6%, demonstrando que a acurácia do sensor é compatível com os encontrados no mercado e de acordo com as métricas observadas em diferentes trabalhos científicos de calibração. Esses primeiros resultados indicam que a sonda capacitiva apresenta boa estabilidade e reprodutibilidade, gerando curvas de calibração consistentes. Conclui-se que a unidade de monitoramento de umidade desenvolvida apresenta grande potencial como solução tecnológica nacional, aplicável em diferentes áreas e capaz de fornecer informações em tempo real, com perspectivas de patente e ampla utilização em práticas de manejo agrícola e monitoramento ambiental.

Palavras-chave: umidade do solo; sensores capacitativos; acurácia; calibração.