

CALIBRAÇÃO EM LABORATÓRIO DE SENSORES FDR (FREQUENCY DOMAIN REFLECTOMETRY) PARA MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

RICARDO M. SANTOS¹, AUREO S. DE OLIVEIRA², FLÁVIA JANAÍNA C. BRANDÃO², FRANCISCO ADRIANO DE C. PEREIRA⁴

¹ Eng^o Agrônomo, CODEVASF, Aracaju, SE; ² Prof. Adjunto, Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA; ³ Eng^a Agrônoma, Pesquisadora Associada, NEAS / UFRB; ⁴ Prof. Adjunto, NEAS / UFRB

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB

RESUMO: A determinação da umidade do solo é um parâmetro importante em estudos de irrigação, drenagem, armazenamento de água e movimentação de água e solutos no perfil. Vários são hoje os equipamentos destinados a tal fim. A determinação da umidade é feita em geral através de uma propriedade do solo sensível à variação do conteúdo de água no solo, a exemplo da constante dielétrica. O objetivo deste estudo foi calibrar em laboratório a partir de monólitos um sensor FDR, modelo Sentry 200 AP. A calibração seguiu um modelo exponencial e mostrou alta correlação para seis profundidades do perfil de solo (10, 30, 50, 70 e 90 cm) dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. Os coeficientes de determinação variaram de 0,937 (70 cm) a 0,996 (90 cm). O método de calibração portanto revelou-se adequado para uso prático da sonda em condições de campo.

PALAVRAS-CHAVE: Sonda de capacitância, umidade do solo, FDR, reflectometria

LABORATORY CALIBRATION OF FDR (FREQUENCY DOMAIN REFLECTOMETRY) SENSORS FOR SOIL MOISTURE DETERMINATION

ABSTRACT: The determination of soil water content is an essential data for soil and water management, irrigation, drainage, and monitoring of water and solute movement into the soil profile. Actually, there is a number of equipment for determination of soil moisture content and they work according to different principles. But, they usually estimates the water content based on a given soil property that follows the variation of water content. Thus, the objective of this work was to calibrate an FDR sensor model Sentry 200 AP. The calibration followed an exponential model and it showed high correlation between sensor reading and gravimetric moisture, in all depths (10, 30, 50, 70, 90, 110 cm) of the profile of a soil from the Costal Tablelands of Bahia. The determination coefficient varied from 0.937 (70 cm) to 0.996 (90 cm). The calibration procedure here adopted revealed to be appropriate for this type of sensor when it has to be used under filed conditions.

KEYWORDS: Capacitance probe, soil moisture, FDR, reflectometry

INTRODUÇÃO: Atualmente vários são os métodos para determinação do teor de água no solo, geralmente classificados em métodos diretos, quando permitem determinar diretamente a umidade do solo (gravimetria) e indiretos, quando estimam a umidade a partir de propriedades físicas do solo que variam em função do seu teor de água (CICHOTA, 2003), a exemplo da resistência elétrica, condutividade térmica, constante dielétrica, entre outras. Para um solo seco, por exemplo, a constante dielétrica normalmente varia de 2 a 5, enquanto para a água seu valor é em torno de 80 a frequências entre 30 MHz e 1 GHz (LEY et al., 1992; TROXLER, 1995). Esta diferença indica que pequenas mudanças no conteúdo de água do solo podem ter grandes influencias sobre as propriedades eletromagnéticas do meio (LEY et al., 1992). A constante dielétrica (k_a) é uma medida da habilidade de um material não condutor em transmitir pulsos ou ondas eletromagnéticas (LEY et al., 1992). Os métodos com base em k_a compreendem os sistemas TDR (Time Domain Reflectometry) (TOPP et al., 1980) e os FDR (Frequency Domain Reflectometry) originalmente descritos por DEAN et al. (1987). Um dos modelos de sensor FDR disponíveis é a sonda de capacitância Sentry 200 AP, cujo sensor

consiste de um par de eletrodos separados por um dielétrico plástico (EVETT & STEINER, 1995). Os eletrodos superior e inferior e o isolante separador são de forma cilíndrica, de forma a facilitar a inserção no tubo de acesso de PVC. A diferença D entre a frequência de ressonância da sonda no tubo de acesso e a frequência de ressonância medida com a sonda no ar depende do teor de água no solo. O objetivo deste trabalho foi calibrar em condições de laboratório, duas sondas FDR para uso em diferentes profundidades de perfis de solo dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. A calibração é um processo que consiste na coleta de dados (leituras) do aparelho ou sistema a ser calibrado; da coleta dos respectivos valores de referência e da análise da relação entre eles. Esta análise fornece a relação matemática ou estatística entre o valor de referência e a leitura do dispositivo calibrado, em adição, e talvez mais importante ainda, fornece a estimativa dos erros de medição (VUOLO, 1996)

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação e Drenagem, do Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS) do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), campus de Cruz das Almas (12°40'S, 39°30'W), Bahia. Para execução da pesquisa foram usados os seguintes materiais: sonda de capacitância (Figura 1) Sentry 200-AP (Troxler Electronic Laboratories, Inc., Research Triangle Park, NC, USA), dez tubos de PVC rígido (60 mm DE, 50 mm DI e 150 cm de comprimento), trado para retirada de amostras indeformadas de solo, recipientes de alumínio para acondicionamento das amostras, estufa para secagem das amostras, balança de precisão, moldes de aço (altura e diâmetro de 30 cm) para retirada e acondicionamento dos monólitos e uma plataforma com células de carga para pesagem dos monólitos.



Figura 1 – Vista das sondas e unidade de controle (a), cilindro com monólito (b) e aparato experimental para leitura e pesagem dos monólitos (c).

O sensor da sonda, uma vez calibrado, fornece a umidade média de um volume de solo de aproximadamente 20 cm de diâmetro por 10 cm de altura (LEY et al., 1992). Com base nessa informação, monólitos de 25 cm de altura e 30 cm de diâmetro foram extraídos do perfil do solo partir de 10 cm de profundidades em incrementos de 20 cm. O objetivo foi limitar ao máximo o volume de solo de abrangência do sensor de forma a diminuir erros provocados pela distribuição da água no monólito. Após a extração no campo, os monólitos foram encaminhados ao laboratório. Após saturação do solo iniciou-se a calibração do sensor por secagem da amostra. O solo coletado é predominantemente franco-argilo-arenoso, com teores médios de 311 g kg⁻¹ de argila, 77 g kg⁻¹ de silte e 613 g kg⁻¹ de areia e densidade média de partículas de 2,58 kg dm⁻³.

A coleta de dados teve como base o princípio gravimétrico. Uma vez saturados os monólitos, diariamente procedia-se a leitura com o sensor e em seguida a medição da massa úmida do monólito na plataforma de pesagem (Figura 1C), especialmente confeccionada e calibrada para tal fim com acurácia de ± 50 g ($\pm 0,083$ % final de escala). Foram trabalhados 6 monólitos por vez, sendo 3 por profundidade. Para ambos os sensores, o procedimento de calibração foi o mesmo utilizando-se um mesmo monitor (Figura 1A) com 'display' digital. Quando as pesagens apresentavam-se com pequenas variações, os monólitos eram desfeitos e amostras deformadas retiradas para determinação da umidade gravimétrica. Com a massa de solo seco em estufa da amostra determinou-se correspondente massa de solo seco no cilindro, que então foi subtraída da massa de solo úmido no cilindro por ocasião de todas as pesagens, para se obter a massa de água em cada pesagem. Com a massa de água e o volume conhecido do monólito determinou-se a umidade volumétrica do solo em

cada pesagem. Com os pares ordenados (D,θ) construiu-se as curvas de calibração, seguindo o modelo matemático recomendado pelo fabricante (equação 1).

$$\theta = \left(\frac{1}{F_1} \right) \cdot \text{Ln} \left(\frac{D - F_2}{F_0} \right) \quad (1)$$

onde F_0 , F_1 e F_2 são as constantes de calibração e D é a leitura fornecida pelo sensor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 mostra as curvas de calibração por profundidade. parâmetros de ajuste (F_0 , F_1 e F_2) do modelo exponencial (equação 1) foram otimizados utilizando o método dos mínimos quadrados para cada profundidade. Observa-se que os dados apresentados apresentam alta correlação o que demonstra a adequação da metodologia empregada uma vez que estes representam pares ordenados de três amostras de solo.

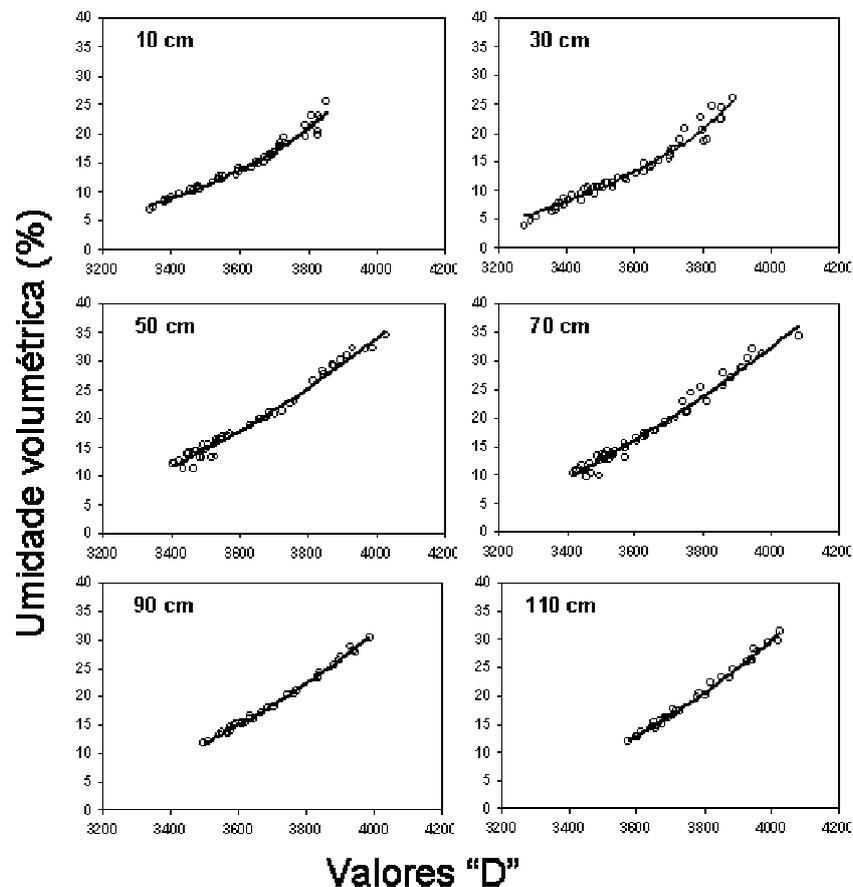


Figura 1. Umidades volumétricas (○) em função dos valores D lidos por uma das sondas estimadas

A Tabela 1 mostra os coeficientes dos modelos de ajuste linear e do fabricante, com apresentação do coeficiente de Wilmot (d) a raiz da média dos quadrados dos desvios (RMSE) e máximo desvio absoluto encontrado para cada profundidade estudada. Observa-se um ajuste ideal dos dados ao modelo proposto, porém os coeficientes das equações diferem entre si mostrando a necessidade de calibração individualizada. A fim de facilitar a aplicação prática do sensor de umidade, procurou-se gerar modelos que satisfizessem uma maior faixa de profundidades. Para tanto os dados das camadas individuais foram agrupados. Este agrupamento, entretanto diminui a eficiência dos modelos à medida que se consideram camadas mais extensas como pode ser observado pelos coeficientes apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo proposto pelo fabricante (equação 1), coeficiente de Wilmot (d), raiz da média dos quadrados dos desvios (RMSE) e máximo desvio absoluto (DAMx) para os dados agrupados em profundidades

Profundidade	F ₀	F ₁	F ₂	d	r	R ²	RMSE	DAMx
10	-1292.6	-0.06850	4108.8	0.994	0.988	0.977	0.707	2.35
30	-1188.1	-0.05893	4150.6	0.993	0.985	0.971	0.954	2.70
50	-2002.6	-0.02137	4967.1	0.995	0.991	0.982	0.888	2.23
70	-2391.3	-0.01467	5487.7	0.985	0.968	0.937	1.681	9.64
90	-1655.1	-0.02776	4694.9	0.999	0.998	0.996	0.369	0.95
110	-1584.1	-0.02527	4745.6	0.998	0.996	0.992	0.517	1.17

A fim de facilitar a aplicação prática do sensor de umidade, procurou-se gerar modelos que satisfizessem uma maior faixa de profundidades. Para tanto os dados das camadas individuais foram agrupados. Este agrupamento, entretanto diminui a eficiência dos modelos à medida que se consideram camadas mais extensas como pode ser observado pelos coeficientes apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do modelo proposto pelo fabricante, coeficiente de Wilmot (d), raiz da média dos quadrados dos desvios (RMSE) e máximo desvio absoluto (DAMx) para os dados agrupados em camadas

Profundidade	F ₀	F ₁	F ₂	d	r	R ²	RMSE	DAMx
0-20	-1292.6	-0.0685	4108.8	0.994	0.988	0.977	0.707	2.35
0-40	-1258.4	-0.05265	4220.6	0.992	0.985	0.970	0.899	2.75
0-60	-1341.5	-0.04564	4283.5	0.971	0.945	0.893	2.084	4.30
0-80	-1495.7	-0.03291	4507.7	0.976	0.954	0.911	1.946	4.64
0-100	-1514.3	-0.03261	4524.5	0.979	0.959	0.920	1.823	4.50
0-120	-1541.8	-0.03315	4540.0	0.970	0.957	0.917	1.867	4.22

CONCLUSÕES: A calibração do sensor de umidade Sentry 200 AP, em condições de laboratório utilizando-se amostras indeformadas de grande volume apresentou alta correlação segundo o modelo exponencial adotado. Os resultados indicam que o procedimento de calibração aqui apresentado é adequado, pois preserva as características originais do solo, como estrutura, densidade aparente, etc. Assim, acredita-se ser confiável a transferibilidade dos modelos de calibração em laboratório para aplicações práticas em condições de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- CICHOTA, R. Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo. Dissertação (Mestrado). ESALQ. Piracicaba. 2003. 121 p.
- DEAN, T.; BELL, J.; BATY, J. Soil moisture measurement by improved capacitance technique. Part I. Sensor design and performance. *Journal of Hydrology*, 93:67-78, 1987.
- EVETT, S.R.; STEINER, J. L. Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 59, n. 4, p. 961-968, July-August 1995.
- GARDNER, W. H. Water content. In KLUTE, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. I. Physical and Mineralogical Methods*. Madison: Soil Science Society of America, 1986. cap. 21. p. 493-594.
- LEY, T.W.; STEVENS, R.G.; TOPILEC, R.R.; NEIBBLING, W.H. Soil water monitoring and measurement. Prosser: Pacific Northwest Publication. Washington State University, 1992, 27 p.
- TOPP, G., DAVIS, J., ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16:574-582, 1980.
- TROXLER ELECTRONIC LABORATORIES. Sentry 200-AP user's manual for operation and instruction. Research Triangle Park, NC. 1995. 75p.
- VUOLO, J. H. Fundamentos da Teoria dos Erros. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1996. 249 p.