

CALIBRAÇÃO DA SONDA DE CAPACITÂNCIA DIVINER 2000[®] EM UM ARGISSOLO

CLÁUDIO R. SILVA¹, ADERSON S. ANDRADE JÚNIOR², FRANCISCO B. MELO³,
ANTONIO B. SOUSA⁴ CLAUDINEI F. SOUZA⁵

¹Eng. Agrônomo, Dr., Bolsista CNPq, Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro: Buenos Aires, Teresina, PI. CEP: 64006-220. Tel.: (86) 3225-1141 ramal 290. E-mail: claudio@cpamn.embrapa.br.

²Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI. Bolsista PQ - CNPq.

³Eng. Agrônomo, M.Sc., Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

⁴Graduando em Agronomia pela UFPI, Estagiário, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

⁵Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNITAU, Taubaté, SP e Pós-Doutorando, ESALQ/USP.

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

RESUMO: Sensores de umidade do solo por capacitância são alternativas aos métodos tradicionais de quantificação do teor de água do solo, fornecendo leituras seguras, rápidas e em profundidade no perfil do solo. Uma sonda de capacitância Diviner 2000[®] foi calibrada para um Argissolo Vermelho Amarelo, no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, situado no município de Teresina, PI. Seis tubos de acesso foram instalados em uma disposição de 5 m por 2 m. Três níveis de conteúdo de água no solo (seco, úmido e saturado) foram aplicados em duas repetições. Efetuaram-se leituras do equipamento, para cada 0,1 m de solo, até 1,0 m de profundidade, juntamente com a coleta de amostras de solo para a determinação da umidade volumétrica (θ_v). A curva de calibração proposta, ajustada por análise de regressão, foi significativamente relacionada com as medidas do equipamento, com alta correlação ($R^2 = 0,93$) e baixo erro-padrão ($0,014 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Apesar de subestimar os valores de θ_v (9,2% em média), a curva de calibração padrão do Diviner 2000[®] é aceitável para o solo em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Sonda de FDR, umidade do solo, sensor.

CALIBRATION OF DIVINER 2000[®] CAPACITANCE PROBE IN AN ARGISOL

ABSTRACT: Capacitance sensors are alternatives to most common soil water content methods, providing readings safely and rapidly with depth. In this study, a capacitance probe (Diviner 2000[®]) was calibrated in a Red Yellow Argisoll at Experimental area of Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí State, Brazil. Six access tubes were installed in a 5 by 2 m grid system. Three moisture levels (dry, moist and saturated soil) were applied in two replications. Readings of device were made for every 0.1 m until 1.0 m depth as well as collecting of soil samples to determine the volumetric soil water (θ_v). The calibration equation, derived by regression analysis, was significantly related with measurements of equipment with high correlation ($R^2 = 0.93$) and lower standard error ($0.014 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Despite underestimating values of θ_v by 9.2%, the manufacture's calibration presents in Diviner 2000[®] is acceptable for this soil.

KEYWORDS: FDR probe, soil moisture, sensor.

INTRODUÇÃO: Para estimar o conteúdo de água no solo, sensores de capacitância comercialmente, disponíveis, como o Diviner 2000[®] e o EnviroScan[®], tem sido testados (Paltineanu & Starr, 1997; Morgan et al., 1999; Fares et al., 2004;) e utilizados em muitos trabalhos que necessitam do monitoramento da umidade do solo com precisão (Fares & Alva, 1999; Girona et al., 2002). Apresentam como principais vantagens a segurança ao operador; o fornecimento de leituras rápidas, precisas e em profundidade no perfil do solo; facilidade de operação e permitem o acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (Gardner et al., 1991). O método baseia-se na medição da constante dielétrica ou capacitância da matriz do solo (ar, água, solo), a qual é relacionada com a

umidade volumétrica (θ_v). Entretanto, a acurácia do equipamento é dependente do uso de coeficientes de calibração apropriados que podem variar em função da textura (Morgan et al., 1999) e densidade do solo (Fares et al., 2004). Como o manejo racional da irrigação tem uma importância fundamental, especialmente em regiões como o Nordeste do Brasil, na qual os recursos hídricos e energéticos são limitados e, dadas as dificuldades práticas para o usuário deste equipamento quanto à calibração em campo, este trabalho teve como objetivos: (i) determinar uma equação de calibração específica para um Argissolo do Estado do Piauí; (ii) testar a calibração padrão do equipamento, bem como comparar com outras calibrações em campo relatadas na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi realizado no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, situado no município de Teresina, PI (05°05'S, 42°48'W e 74,4 m de altitude). Utilizou-se um solo de uma área não-vegetada, classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, com algumas características físicas apresentadas na Tabela 1. A instalação dos tubos, coleta de amostras e as análises dos dados foram conduzidas no período de 30/10 a 20/12/2005.

Tabela 1. Propriedades físicas de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico. Teresina, PI.

Profundidade (m)	Horizonte	Textura (%)			Classificação Textural
		Areia	Silte	Argila	
0,00 - 0,15	A _p	78,58	7,85	13,60	Areia Franca
0,15 - 0,35	A ₁₂	67,55	9,85	22,60	Franco Argilo Arenoso
0,35 - 0,65	Bt ₁₂	60,65	9,75	29,60	Franco Argilo Arenoso
>0,65	Bt ₂₁	60,75	12,65	26,60	Franco Argilo Arenoso

Utilizou-se uma sonda de capacitância, modelo Diviner 2000^{®1}, da Sentek Pty Ltda, Austrália. Por recomendação do fabricante, primeiramente foram registradas as leituras (frequências) dentro de um tubo de PVC exposto separadamente do ar e água ($\approx 26^\circ\text{C}$). As leituras feitas no solo (frequências) foram normalizadas e chamadas de frequência relativa (FR), pela equação definida como: $FR = (Fa - Fs)/(Fa - Fw)$, em que: Fa é a leitura da frequência no tubo de PVC totalmente suspenso no ar ($Fa = 164.919$); Fs é a leitura da frequência no tubo de PVC no solo e Fw é a leitura da frequência no tubo de PVC imerso em água ($Fw = 121.850$). A normalização das leituras faz-se necessária, uma vez que não há exatidão nas leituras realizadas por sondas diferentes, dada uma condição particular, como, por exemplo, água e ar (Sentek, 2000). Seis tubos de acesso feitos de PVC (DE = 56,5 mm, DI = 51 mm e comprimento de 1,5 m) foram instalados em duas linhas, usando uma disposição de 5 por 2 metros. A instalação foi feita de modo a garantir um bom contato entre o solo e o tubo de acesso, ficando os mesmos cerca de 4 cm acima da superfície do solo. Ao final da instalação, os tubos foram limpos com auxílio de uma esponja e protegidos com a colocação de um cap na extremidade. Após 15 dias, foram abertas manualmente três trincheiras (4 x 0,7 x 1,2 m de profundidade, respectivamente, comprimento, largura e profundidade), distante 0,4 m de cada tubo. Três níveis de umidade foram utilizados para cobrir toda a amplitude nos valores do teor de água no solo, denominados de saturado, úmido e seco. Dois tubos foram usados para cada nível de umidade. Para o nível de saturação, no dia 21/11/2005, aplicou-se ≈ 196 litros de água com a ajuda de um anel de infiltração (0,5 m de diâmetro) para que, visualmente, a frente de molhamento atingisse 1,0 m de profundidade e, no dia seguinte a aplicação de água, procedeu às leituras com a sonda e a coleta das amostras de solo. Para o nível úmido aplicou-se metade do volume do nível saturado (25/11/2005). Como o experimento foi montado no final do período seco (novembro), no nível seco apenas procedeu-se às leituras e coleta do solo. Três leituras de FR foram realizadas para cada camada de solo (0,1 - 1,0 m) e com os dados armazenados gerou-se uma média de FR para cada camada de solo. Imediatamente após a realização das leituras procedeu-se a coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade. Para isto, a cada 0,1 m de profundidade, uma amostra de solo deformada foi retirada de maneira adjacente ao tubo e colocada em uma lata de alumínio (aproximadamente, 60 mm de altura por 70 mm de diâmetro) com tampa concomitantemente com duas amostras indeformadas. As amostras foram pesadas ($\pm 0,01$ g) e colocadas para secagem em estufa (105°C por 48 h), para nova pesagem posterior. A umidade

¹ Referências à marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

volumétrica (θ_v , $m^3 m^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade à base massa pela relação entre a média da densidade do solo e a densidade da água ($kg m^{-3}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os níveis de umidade agruparam-se em três conjuntos de valores significativamente diferentes pelo teste Tukey a 5%, com médias de FR de 0,57 (seco), 0,65 (úmido) e 0,74 (úmido), comprovando que a metodologia foi adequada para se obter valores de FR para uma ampla faixa de umidade. O maior e menor valor de FR encontrado foi 0,7819 (solo saturado a 0,3 m de profundidade) e 0,4916 (solo seco a 0,1 m de profundidade). A uma profundidade de 0,2 m, ocorreu um pico nos valores de FR, em todos os níveis de umidade, provavelmente, influenciado pela compactação do solo, que aumenta a densidade do solo e, por consequência, a umidade. Devido a estas diferenças quanto à densidade e textura do solo, o uso de calibrações individuais, para cada camada de solo, poderia melhorar a acurácia do equipamento. De fato, usando-se equações de calibração para cada camada (Tabela 2) houve melhoria para quase todos os coeficientes de correlação, além de minimizar o erro padrão. A exceção ocorreu a 0,9 e 1,0 m de profundidade, provavelmente, associada a pouca variação nos valores de SF entre saturado e úmido, bem como a maior dispersão nos valores observados de FR. Contudo, o aumento do coeficiente de correlação e redução do erro-padrão, não foi suficiente para promover diferenças estatísticas ($p > 0,9$) nos valores estimados de θ_v usando os coeficientes da calibração determinados para cada camada daqueles determinados para todo o perfil do solo.

Tabela 2. Equações⁽¹⁾ obtidas para a calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em diferentes camadas e para todo o perfil do solo.

Horizonte (m)	a*	b	R ²	Erro padrão ⁽²⁾	N	Umidade ($m^3 m^{-3}$)	
						Mínima	Máxima
0,1	0,742	3,782	0,98	0,011	5	0,067	0,233
0,2	0,503	3,144	0,98	0,009	6	0,098	0,247
0,3	0,457	2,553	0,98	0,009	6	0,099	0,264
0,4	0,484	2,596	0,99	0,007	6	0,101	0,252
0,5	0,506	2,707	0,93	0,017	6	0,104	0,242
0,6	0,542	2,923	0,97	0,011	6	0,104	0,238
0,7	0,524	2,923	0,94	0,014	6	0,104	0,221
0,8	0,476	2,640	0,92	0,013	6	0,116	0,216
0,9	0,527	3,051	0,90	0,012	6	0,116	0,210
1,0	0,503	2,813	0,56	0,021	6	0,121	0,198
0-1,0	0,492	2,757	0,93	0,014	59	0,067	0,264

⁽¹⁾ Regressões feitas pelo programa computacional TableCurve v.5.01 (SYSTAT, Software, Inc.);

⁽²⁾ Erro-padrão de estimativa = $\sqrt{\text{Quadrado médio dos Resíduos}}$

* Os coeficientes a e b são da calibração $\theta_v = aFR^b$, em que FR, θ_v , e N são a frequência relativa, umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$) e número de amostras usada por análise, respectivamente.

Com o objetivo de testar a calibração fornecida pelo fabricante e outras calibrações realizadas em campo (Morgan et al., 1999 e Fares et al., 2004), utilizou-se as equações sugeridas pelos autores e construíram-se as curvas com as leituras de FR realizadas em campo e a umidade estimada por cada equação. Para tanto, construiu-se gráfico contendo essas curvas, os dados obtidos em campo (de todo o perfil do solo) e a curva de calibração local (Figura 1). Nota-se que as curvas de Fares e Morgan foram similares e superestimaram θ_v em relação à calibração local em 17,85% e 19,48%, respectivamente. A calibração sugerida pelo fabricante subestimou em 9,24%, embora, não tenha sido significativa pelo teste Tukey. Essa concordância de calibração pode ser explicada devido ao fato do fabricante ter usado em sua calibração dados obtidos de solos arenosos, muito semelhantes, em termos de retenção de água, como o solo testado neste estudo. A calibração de Fares, também, foi obtida em um solo arenoso, porém com menor capacidade de retenção ao passo que a de Morgan foi feita para um solo com textura mais fina.

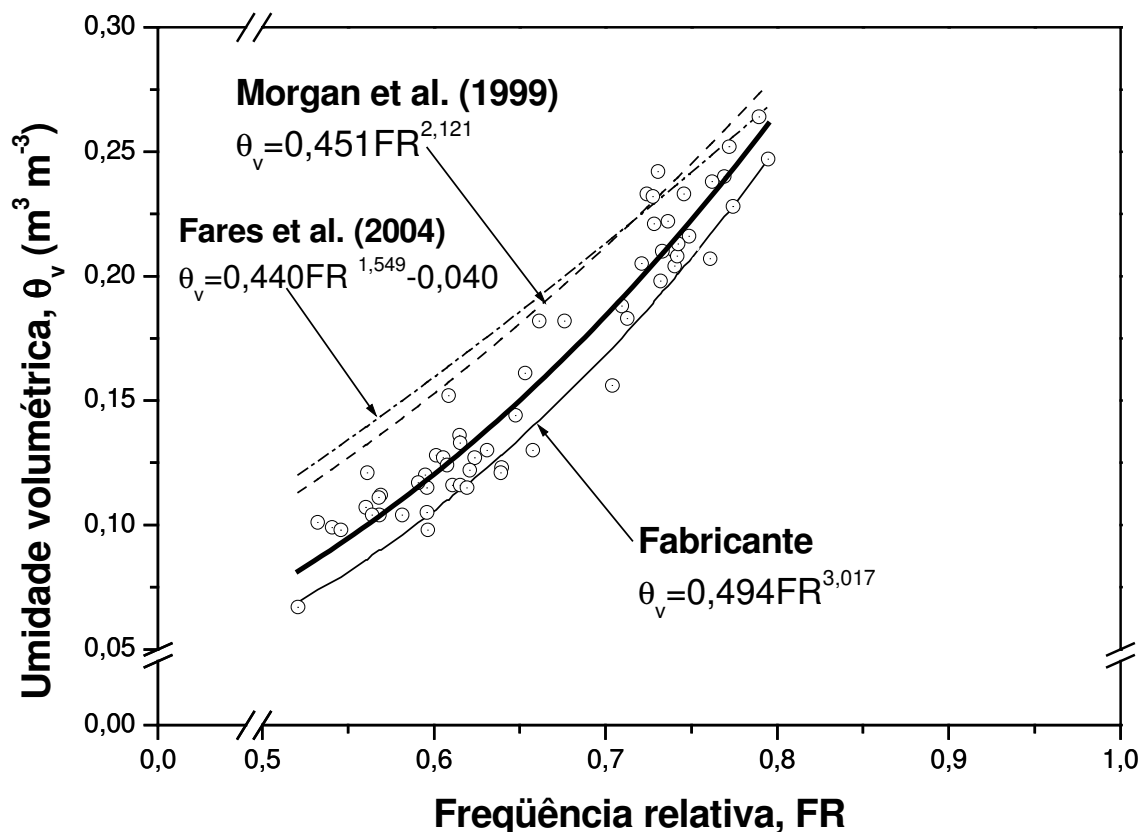


Figura 1. Comparação entre curvas de calibração efetuadas com a sonda Diviner 2000®

CONCLUSÕES: As leituras de capacitância apresentaram alta correlação ($R^2 = 0,93$) e baixo erro-padrão ($0,014 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) com as medidas da umidade volumétrica do solo, em um intervalo de aplicabilidade de $0,067$ a $0,264 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Apesar de subestimar os valores de θ_v (em média de 9,2%) a curva de calibração padrão do equipamento Diviner 2000® é aceitável para o solo em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FARES, A.; BUSS, P.; DALTON, M.; EL-KADI, A.I.; PARSONS, L.R. Dual field calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay soil. **Valdese Zone Journal**, v.4, p.1390-1399, 2004.
- FARES, A.; ALVA, K.A. Estimation of citrus evapotranspiration by soil water mass balance. **Soil Science**, v.164, n.5, p. 302-310, 1999.
- GARDNER, C.M.K.; BELL, J.P.; COOPER, J.D; DEAN, T.J.; HODNETT, M.G.; GARDNER, N. Soil water content. In: SMITH, R.A.; MULLINGS, C.E. (Ed.) **Soil Analysis: Physical methods**. New York: Marcel Dekker, cap.1, p. 1-73, 1991.
- GIRONA, J. MATA, M.; FERERES, E.; GOLDHAMER, D.A.; COHEN, M. Evapotranspiration and soil water dynamics of peach trees under water stress. **Agricultural Water Management**, v.54, p.107-122, 2002.
- MORGAN, K.T.; PARSONS, L.R.; WHEATON, T.A.; PITTS, D.J.; OBREZA, T.A. Field calibration of a capacitance water content probe in fine sand soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.987-989, 1999.
- PALTINEANU, I.C; STARR, J.L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1576-1585, 1997.
- SENTEK. **Diviner 2000: user guide version 1.21**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2000.