

# CALIBRAÇÃO DE SENSOR DE CAPACITÂNCIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM UM LATOSSOLO AMARELO

ADERSON S. ANDRADE JÚNIOR<sup>1</sup>, CLÁUDIO R. SILVA<sup>2</sup>, ROSSINI DANIEL<sup>3</sup>, ROGÉRIO FARIAS CAVALCANTE<sup>4</sup>, LUIZ G. M. F. JÚNIOR<sup>5</sup>, CLAUDINEI F. SOUZA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro: Buenos Aires, Teresina, PI. CEP: 64006-220 Tel.: (86) 3225-1141. E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br. Bolsista PQ CNPq.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Dr, Bolsista CNPq, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, UFPB.

<sup>4</sup> Técnico Agrícola, Embrapa Meio-Norte, UEP de Parnaíba, PI.

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Universidade Estadual do Piauí, Parnaíba, PI.

<sup>6</sup> Eng. 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<sup>®</sup> foi calibrada para um Latossolo Amarelo, no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, situado no município de Parnaíba, 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. A equação de calibração proposta, ajustada por análise de regressão, foi significativamente relacionada com as medidas do equipamento, com alta correlação ( $R^2 = 0,971$ ) e baixo erro-padrão ( $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). A curva de calibração padrão do Diviner 2000<sup>®</sup> é aplicável ao solo em estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sonda de FDR, umidade do solo, Diviner 2000

## CALIBRATION OF CAPACITANCE SENSOR FOR MEASUREMENT OF WATER CONTENT IN A YELLOW LATOSOL

**ABSTRACT:** Capacitance sensors are alternatives to most common methods of quantitative measurement of soil water content, providing readings safely and rapidly with depth. In this study, a capacitance probe (Diviner 2000<sup>®</sup>) was calibrated for a Yellow Latosol, located in experimental area of the Embrapa Meio-Norte, at the Parnaíba county, Piauí State, Brazil. Six access tubes were installed in a 5 by 2 m grid system. Three moisture levels (wet, moist and dry) were applied in two replications. Were made readings of device for every 0.1 m until 1.0 m depth as well as collecting of soil samples to determine volumetric soil water content. The calibration equation, derived by regression analysis, was significantly ( $p < 0.001$ ) related with measurements of equipment with high correlation ( $R^2 = 0.971$ ) and lower standard error ( $0.01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Manufacture's calibration presents in Diviner 2000<sup>®</sup> is suitable for this soil.

**KEYWORDS:** FDR probe, soil moisture, Diviner 2000

**INTRODUÇÃO:** Os sensores de umidade do solo por capacitância apresentam como principais vantagens: a segurança ao operador, o fornecimento de leituras rápidas e precisas em profundidade no perfil do solo, facilidade de operação e permitem o acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (Gardner et al., 1991). A sonda de capacitância é constituída de um par de eletrodos que funciona como um capacitor eletrônico. Quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico (isolante) do capacitor. A capacitância aumenta consideravelmente com um aumento no número de moléculas de água livres (Paltineanu & Starr, 1997 e Sentek, 2000). O capacitor é conectado a um circuito oscilatório LC (L=indutor; C=capacitor), em que as trocas de frequência do circuito dependem

das trocas de capacitância na matriz, ou seja, quanto maior a umidade do solo, maior será a capacitância e conseqüentemente, menor será frequência (F) do circuito, a qual é medida pela fórmula universal,  $F=[2\pi\sqrt{LC}]^{-1}$  (Paltineanu & Starr, 1997). Entretanto, os sensores de capacitância necessitam ser calibrados localmente para fornecer leituras precisas da umidade do solo, ainda que sejam trabalhosas e onerosas. Considerando que 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 as dificuldades práticas para o usuário deste equipamento quanto à calibração em campo, este trabalho teve como principais objetivos: (i) determinar uma equação de calibração específica para um Latossolo do Estado do Piauí; (ii) comparar esta calibração como a curva fornecida pelo fabricante bem como, 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 Parnaíba, PI (03°05'S, 41°47'W e 46 m de altitude). Utilizou-se um solo não-vegetado, classificado como Latossolo Amarelo distrófico, com as seguintes características principais: solo profundo, acentuadamente drenado, de textura variando de média a argilosa no horizonte B, densidade do solo relativamente alta (1,3 a 1,6 kg m<sup>-3</sup>) (Melo et al., 2004), cujas características físicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Distrófico. Parnaíba, PI.

Profundidade (m)	Horizonte	Textura (g kg <sup>-1</sup> )			Classificação Textural
		Areia	Silte	Argila	
0,00 - 0,25	A <sub>p</sub>	852	62	86	Areia Franca
0,25 - 0,40	AB	886	39	75	Areia Franca
0,40 - 0,70	Bw <sub>1</sub>	854	61	85	Areia Franca
0,70 - 1,20	Bw <sub>2</sub>	833	52	115	Areia Franca
> 1,20	Bw <sub>3</sub>	807	77	116	Franco Arenoso

Adaptado de Melo et al. (2004).

A instalação dos tubos de acesso, coleta de amostras e análise dos dados foi realizada no mês de dezembro de 2005 (final do período seco). Utilizou-se uma sonda de capacitância, modelo Diviner 2000<sup>®1</sup>, da Sentek Pty Ltda, Austrália. Por recomendação do fabricante, primeiramente foram registradas as leituras (frequências), dentro de um tubo de acesso (PVC), exposto ao ar e a água (≈26°C). As leituras feitas no solo (frequências) foram normalizadas e chamadas de frequência relativa (FR), pela equação definida como:  $FR = (F_a - F_s)/(F_a - F_w)$ , em que:  $F_a$  é a leitura da frequência no tubo de PVC totalmente suspenso no ar;  $F_s$  é a leitura da frequência no tubo de PVC no solo e  $F_w$  é a leitura da frequência no tubo de PVC imerso em água. 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 (56,5 mm DE, 51 mm de DI 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 1,5 x 1,5 m de profundidade), distante 0,4 m de cada tubo. Três níveis de umidade foram utilizados para cobrir toda a amplitude nos valores do conteúdo 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 13/12/2005, aplicou-se ≈295 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. 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 a mesma quantidade de água, porém as leituras e amostragens foram realizadas após quatro dias. Como o experimento foi montado no final do período seco (dezembro), 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

<sup>1</sup> Referências à marca registrada não constituem endosso por parte dos autores

a realização das leituras procedeu-se a coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade. Para tanto, 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, para determinar a densidade do solo, duas amostras indeformadas por camada foram coletadas com anéis volumétricos (48,7 mm de altura por 52,4 mm de diâmetro) dispostos horizontalmente a 10 cm da parede do tubo. As amostras foram pesadas ( $\pm 0,01$  g) e colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada ( $105^{\circ}\text{C}$  por 48 h), para nova pesagem. A umidade volumétrica ( $\theta_v$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica (em massa) pela média da densidade do solo ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O maior e menor valor de FR encontrado foi 0,740 (solo saturado a 0,6 m de profundidade) e 0,329 (solo seco a 0,1 m de profundidade). No nível seco, a FR aumentou linearmente até 0,4 m de profundidade, para depois, praticamente estabilizar ao longo do perfil. Os demais níveis (úmido e saturado) também exibiram comportamento similar ao seco, porém com leve queda a partir de 0,8 m de profundidade, provavelmente provocada pela diminuição da profundidade de molhamento do solo. Os resultados encontrados refletem a distribuição dos horizontes de A para B textural, com aumento do teor de argila (Tabela 1) e decréscimo na densidade do solo. Alguns estudos (Morgan et al., 1999 e Fares et al., 2004) relataram grandes diferenças nos valores estimados de  $\theta_v$  por calibrações locais quando comparados com valores estimados pela calibração embutida no equipamento e, foram diretamente associadas às diferenças quanto ao tipo, granulometria e estrutura do solo. Os resultados obtidos sugerem que calibrações individuais para as quatro primeiras camadas podem melhorar a precisão da estimativa, enquanto que apenas uma seria suficiente para o restante do perfil (0,5-1,0 m). A Tabela 2 apresenta as equações da calibração para cada camada, até 0,4 m de profundidade, para a camada de 0,5-1,0 e para todo o perfil do solo. Os valores de coeficiente de determinação e o erro padrão da calibração obtida para todo o perfil todo do solo com as calibrações individuais indicam que houve um aumento nos valores de somente para as calibrações feitas para as camadas 0,2, 0,3 e de 0,5-1,0. Entretanto, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade quando compara-se os valores estimados de  $\theta_v$

Tabela 2. Equações<sup>(1)</sup> obtidas para a calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em diferentes camadas e para todo o perfil do solo. Parnaíba, PI, 2005.

Horizonte (m)	a *	b	R <sup>2</sup>	Prob>F	Erro padrão <sup>(2)</sup>	N	Umidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	
							Mínima	Máxima
0,1	0,4407	2,7252	0,975	<0,001	0,012	6	0,007	0,158
0,2	0,5142	3,2853	0,993	<0,001	0,005	6	0,020	0,156
0,3	0,5668	3,2784	0,998	<0,001	0,003	5	0,034	0,180
0,4	0,3767	2,4703	0,951	<0,001	0,014	5	0,051	0,193
0,5-1,0	0,3715	2,3333	0,977	<0,001	0,008	32	0,049	0,206
0,0-1,0	<b>0,3970</b>	<b>2,5335</b>	<b>0,971</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,010</b>	<b>54</b>	<b>0,007</b>	<b>0,206</b>

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

<sup>(2)</sup> 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,  $\theta_v$ , e N são a frequência relativa, umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) 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 construiu-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). Nesta, percebe-se que as curvas de Fares e Morgan foram similares e superestimaram a umidade média do solo em relação à calibração local em 36,8% e 38,7%, em média, respectivamente. Entretanto, a calibração sugerida pelo fabricante foi muito próxima daquela obtida para este solo. Pelo teste de Tukey, não houve diferenças nos valores estimados de  $\theta_v$  usando estas duas equações. 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 de água ao passo que a de Morgan foi feita para um solo argiloso.

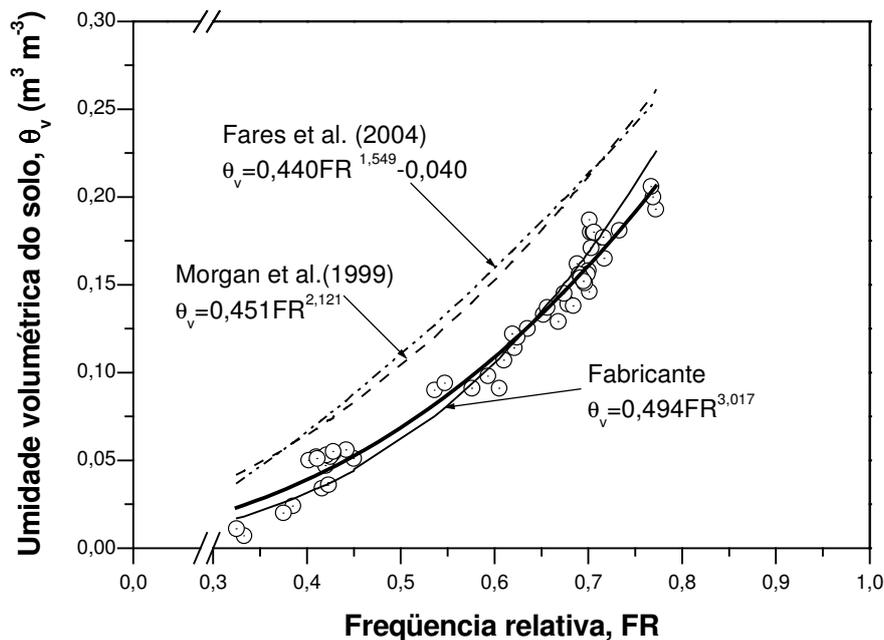


Figura 1. Comparação entre curvas de calibração efetuadas com a sonda Diviner 2000®

**CONCLUSÕES:** As leituras de capacitância apresentam alta correlação ( $R^2 = 0,971$ ) e baixo erro-padrão ( $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) com as medidas da umidade volumétrica do solo, num intervalo de aplicabilidade de  $0,07$  a  $0,206 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . A curva de calibração padrão do Diviner 2000® é aplicável ao solo estudado.

## 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.
- 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, 1991, cap.1, p. 1-73.
- MELO, F.B.; CAVALCANTE, A.C; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A. **Levantamento detalhado dos solos da área da Embrapa Meio-Norte/UEP de Parnaíba**. Embrapa Meio-Norte. 2004. 26p. (Documentos, 89).
- 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.