



CALIBRAÇÃO DA SONDA DE CAPACITÂNCIA FDR EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO ARGILOSO DO CERRADO

Lorena Alves de Oliveira^{1*}, José Alves Júnior¹, Derblai Casaroli¹, Edilane Ferreira Borges¹, Adão Wagner Pêgo Evangelista¹

RESUMO: Para o uso eficiente dos recursos hídricos regionais é imperativo que seja feito um adequado manejo da irrigação, como o baseado no monitoramento do conteúdo de água no solo. Para isso, pode-se utilizar diferentes sensores, entretanto, para maior confiabilidade da informação, estes precisam ser calibrados para cada solo. Assim, o objetivo foi calibrar uma sonda do tipo Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), para um Latossolo Vermelho Distrófico, de textura argilosa. Seis tubos de acesso foram instalados no solo, formando uma grade de 5 m × 2 m, sendo dois tubos para cada nível de umidade (saturado, úmido e seco). Efetuaram-se leituras de umidade do solo com o equipamento para cada camada de solo (0,10 m – 0,60 m) em cada tubo. Imediatamente após a realização das leituras, procedeu-se à coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade. A umidade volumétrica (Θ_v , $m^3 m^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela média da densidade do solo ($kg m^{-3}$). A sonda FDR é adequada para determinação da umidade a partir de uma calibração para o solo de interesse. O modelo que melhor se ajustou foi o modelo potencial, seguindo os resultados de outros autores.

Palavras-chave: conteúdo de água no solo, diviner 2000, instrumentação agrícola.

CAPACITANCE PROBE CALIBRATION FDR IN DYSTROPHIC CLAYEY RED LATOSOL

ABSTRACT: For the efficient use of regional water resources is imperative that an adequate irrigation management be done, such as that based on the monitoring of water content in the soil. For this, different sensors can be used, however, for greater reliability of the information, these need to be calibrated for each soil. The objective was to calibrate a reflectometry probe type in the Frequency Domain (FDR) for an Oxisol, clayey. Six access tubes were installed in the soil, forming a grid of 5 × 2 m, two tubes for each humidity level (saturated, wet and dry). Soil moisture readings were taken with the equipment for each soil layer (0.10 m - 0.60 m) in each tube. Immediately after the completion of the readings, we proceeded to the soil sampling for determination of moisture and gravimetric density. Volumetric moisture (Θ_v , $m^3 m^{-3}$) in each soil layer was determined by multiplying the gravimetric moisture by the mean soil density ($kg m^{-3}$). The FDR probe is suitable for determining the moisture from a calibration for the soil of interest. The model that best fit was the potential model, following the results of other authors.

Keywords: soil water content, diviner 2000, agricultural instrumentation.

¹ Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia, Goiânia, GO. *E-mail: eng.lorena.oliveira@hotmail.com. Autor para correspondência.

Recebido em: 13/09/2019. Aprovado em: 26/11/2019.

INTRODUÇÃO

Quando o manejo da irrigação é realizado de forma adequada, cerca de 20% de água e 30% de energia podem ser economizados (LIMA et al., 1999). O manejo de irrigação. Dentre as formas de realização do manejo de irrigação, destaca-se o baseado no monitoramento do teor de água no solo. Essa técnica ajuda o irrigante nas tomadas de decisão de quando e quanto de água aplicar no solo, para obtenção de altas produtividades. Assim, diminui a predisposição das plantas a doenças (MAROUELLI et al., 2008) decorrente do excesso de água aplicada, diminuindo perdas de fertilizantes por lixiviação (MENDES et al., 2016) e os custos com defensivos agrícolas.

Existem três métodos comuns para descrever o conteúdo de água do solo: gravimétrico, volumétrico e potencial. A gravimetria é o único método direto para determinar a quantidade de água no solo, porém é trabalhoso e requer tempo de reposta de pelo menos 24 horas para obtenção do resultado. Os outros dois métodos são indiretos porque medem outras propriedades do solo que variam com o teor de água (GRAVALOS et al., 2012). A maioria dos instrumentos de medição de água do solo disponíveis (sensores e sondas) baseia-se em métodos indiretos. A

precisão depende da aproximação do valor obtido em relação ao método padrão ganhando espaço na agricultura irrigada, pois fornecem leituras precisas, rápidas e em diferentes profundidades, são fáceis de operar e ainda permitem o acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (ANDRADE JUNIOR et al., 2007; LEIB et al., 2003; SOUZA et al., 2016).

Quando é necessário a medição do conteúdo de água em camadas de solo mais profundas, por meio de sensores de reflectometria no domínio do tempo (TDR - "time domain reflectometry") ou por gravimetria, requer o uso de trincheiras e de numerosas amostragens ou a instalação de hastes metálicas, o que dificulta e onera o monitoramento em áreas maiores (VELDKAMP & O'BRIEN, 2000; NIJLAND et al., 2010). Assim, sondas com multisensores de capacitância (MCP) ou frequência no domínio do tempo (FDR - "frequency domain reflectometry"), que permitem a medição em várias profundidades e locais em tempo real, têm sido utilizadas no manejo da irrigação em diferentes culturas (GUERRA et al., 2005).

Um exemplo de 'sonda capacitiva' como é reconhecida comercialmente é a Diviner 2000 (SENTEK, 2001). A medida da umidade do solo por sonda FDR, baseia-se em um par de eletrodos ou placas metálicas condutoras

dispostas em paralelo e separadas por material isolante constituindo-se um capacitor. Quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico deste capacitor. A capacitância aumenta com o aumento do número de moléculas de água livre e com os dipolos respondendo ao campo elétrico criado pelo capacitor (PALTINEANU & STARR, 1997).

Vários autores têm determinado a curva de calibração de sondas FDR para várias classes de solos (PALTINEANU & STARR, 1997; SILVA et al., 2007; ZHANG et al., 2010; MARTÍN-VERTEDOR et al., 2011), além dos fornecedores disponibilizarem uma equação universal de estimativa do conteúdo de água no solo em função da frequência relativa obtida pelo sensor. Entretanto a calibração local pode melhorar a qualidade das leituras (SILVA et al., 2008), já que a equação de calibração varia em função da granulometria do solo (SOUZA et al., 2016)

Assim, devido a carência de informações, sobre solos do cerrado, o objetivo deste trabalho foi determinar a equação de calibração para a sonda FDR, em Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia, da

Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO (16° 35' S; 49° 16' W; 722 m). Segundo Köppen o clima é do tipo Aw (Tropical úmido), caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca (maio-setembro) e outra chuvosa (outubro-abril). As médias anuais de temperatura e de precipitação pluviométrica são iguais a 22,3 °C e 1481,5 mm, respectivamente. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 2013), com composição granulométrica de 614,4 g de argila, 77,8 g de silte e 307,8 g de areia por quilograma de solo. A umidade do solo correspondente à capacidade de campo é de 34% e a correspondente ao ponto de murcha permanente de 22%, com base em volume, estimados por meio da curva de retenção de água no solo.

Utilizou-se uma sonda de capacitância, modelo Diviner 2000®, da Sentek Pty Ltda, Austrália. Esse equipamento consiste de um display com teclado e coletor de dados (datalogger) acoplado via cabo a uma sonda que ao ser inserida no tubo de acesso no solo, provê automaticamente leituras do conteúdo da água a cada 0,1 m de profundidade. Por recomendação do fabricante, uma vez que não há exatidão nos valores de frequência (F) nas leituras realizadas por sondas diferentes (condição particular: água e ar), primeiramente

foram registradas as leituras (frequências) dentro de um tubo de PVC exposto separadamente do ar e água (25°C) (SENTEK, 2001).

A saída dos dados fornecida pelo datalogger foi então denominada frequência relativa (FR), definida pela seguinte equação: $FR = (F_a - F_s) / (F_a - F_w)$, em que, F_a é a leitura da frequência no tubo de PVC totalmente suspenso no ar; F_s é leitura da frequência no tubo de PVC no solo e F_w é leitura da frequência no tubo de PVC imerso em água. Nesta calibração, os valores de F_a e F_w foram fixos para todas as medidas realizadas, sendo 176427 e 140860.

Seis tubos de acesso feitos de PVC (DE = 60,0 mm, DI = 53,4 mm e comprimento de 1,0 m, tubos de instalações prediais de água fria) foram instalados em duas linhas, usando-se uma disposição de 5 m por 2 m, segundo as recomendações do fabricante, para garantir um bom contato entre o solo e o tubo de acesso, ficando 10 cm dos tubos acima da superfície do solo para evitar a entrada de água. Ao final da instalação, os tubos foram limpos e protegidos com um cap na extremidade. Foram abertas manualmente trincheiras (3 x 1,5 x 1,0 m de profundidade, respectivamente, comprimento, largura e profundidade), distante 0,4 m de cada tubo.



Figura 1. Abertura da trincheira próxima aos tubos de acesso da Diviner 2000.

Conforme recomendado pelo fabricante (SENTEK, 2001), três níveis de umidade foram utilizados para cobrir toda a amplitude nos valores do conteúdo de água no solo, denominados saturado, úmido e seco. Dois

tubos foram usados para cada nível de umidade; para o nível de saturação aplicaram-se 200 L de água com a ajuda de um anel de infiltração (0,5 m de diâmetro), garantindo a saturação até 0,50 m de profundidade; no dia

seguinte à aplicação de água, procedeu-se 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 seis dias e para o nível seco se procedeu apenas às leituras e coleta do solo, pois o experimento foi realizado no período seco.

Três leituras de FR foram realizadas para cada camada de solo (0,10 m – 0,60 m) em cada tubo, gerando-se uma média de FR para cada uma das camadas; imediatamente após a realização das leituras, procedeu-se à coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade; para tal, a cada 0,10 m de profundidade uma amostra de solo deformada foi retirada adjacente ao tubo e colocada em uma lata de alumínio com tampa; concomitantemente, para determinar a

densidade do solo duas amostras indeformadas por camada também foram coletadas com anéis volumétricos (50,0 mm de altura por 50,0 mm de diâmetro) dispostos horizontalmente a 0,1 m da parede do tubo; as amostras foram então pesadas ($\pm 0,01$ g), secas em estufa (105 °C) e pesadas novamente, após 24 h. A umidade volumétrica (Θ_v , $m^3 m^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela média da densidade do solo ($kg m^{-3}$). Para os níveis de umidade realizou-se o teste de Tukey a 5%. Os valores de Θ_v e as correspondentes leituras de FR, foram submetidos a análise exploratória estatística básica, para definição da média, desvio padrão e erro padrão de estimativa, e análise de regressão múltipla (modelo potencial).

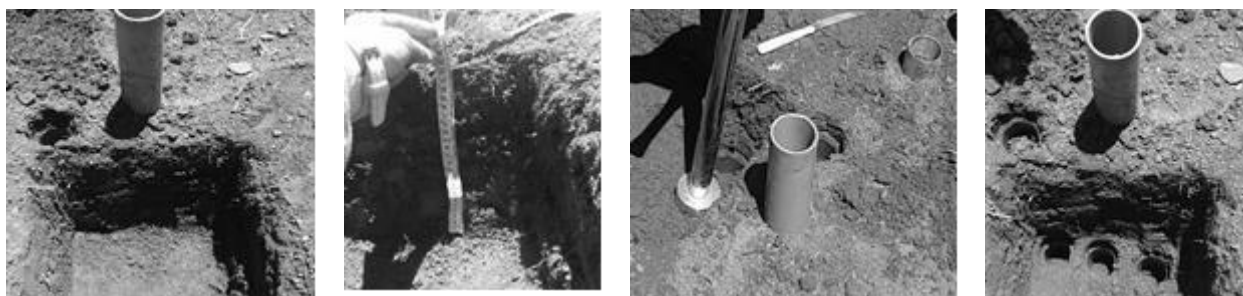


Figura 2. Coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade próxima ao tubo de acesso da Diviner 2000.

Com o objetivo de testar a calibração fornecida pelo fabricante e a local, utilizou-se a

equação sugerida pelo fabricante e construiu-se a curva com as leituras de FR realizadas em campo e a umidade estimada por cada equação.

Como o objetivo principal é o manejo da irrigação, incluiu-se os pontos de murcha permanente (22%) e a capacidade de campo (34%) no gráfico para comparar as calibrações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os níveis de umidade agruparam-se em três conjuntos de valores significativamente

diferentes pelo teste Tukey a 5%, com médias de FR de 0,53 (seco), 0,77 (úmido) e 0,81 (saturado), comprovando que a metodologia foi adequada para se obter valores de FR para uma ampla faixa de umidade, segundo metodologia do fabricante. O maior valor encontrado foi 0,8321 (saturado: 0,4 m de profundidade) e o menor de 0,4051 (seco: 0,1 m de profundidade) (Figura 3).

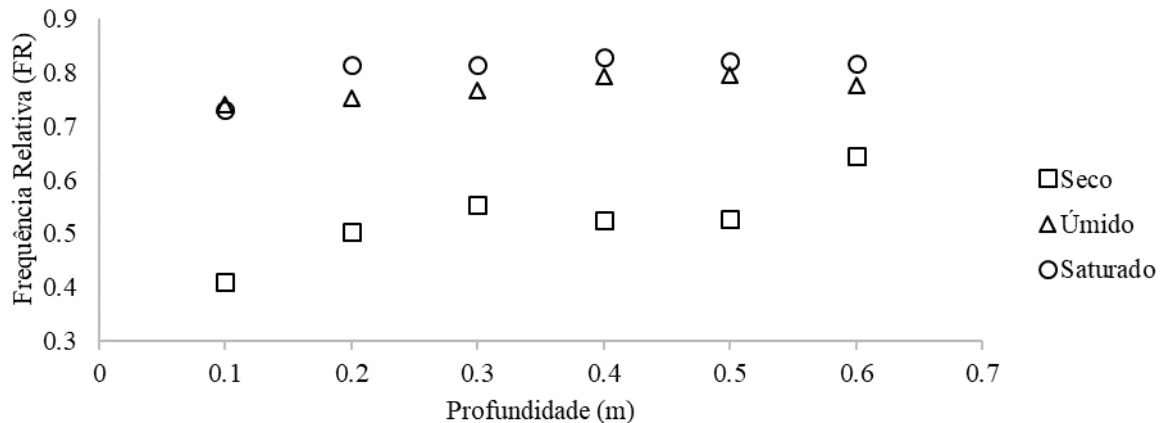


Figura 3. Frequência relativa (FR) ao longo do perfil do solo (0,1-0,6 m) nos três níveis de umidade propostos (seco, úmido, saturado).

A densidade média do solo ao longo do perfil foi de 1,30, 1,40 e 1,50 kg m⁻³, para os níveis seco, úmido e saturado, respectivamente. É possível verificar que os valores de densidade do solo estão situados entre 1,2 e 1,5 kg m⁻³. Essas diferenças podem

estar relacionadas com a dificuldade de amostragens indeformadas do solo, além da presença de material orgânico e pedriscos ao longo do perfil. Essa diferença é maior nas profundidades de 0,20 a 0,30 m, onde a presença de raízes era maior.

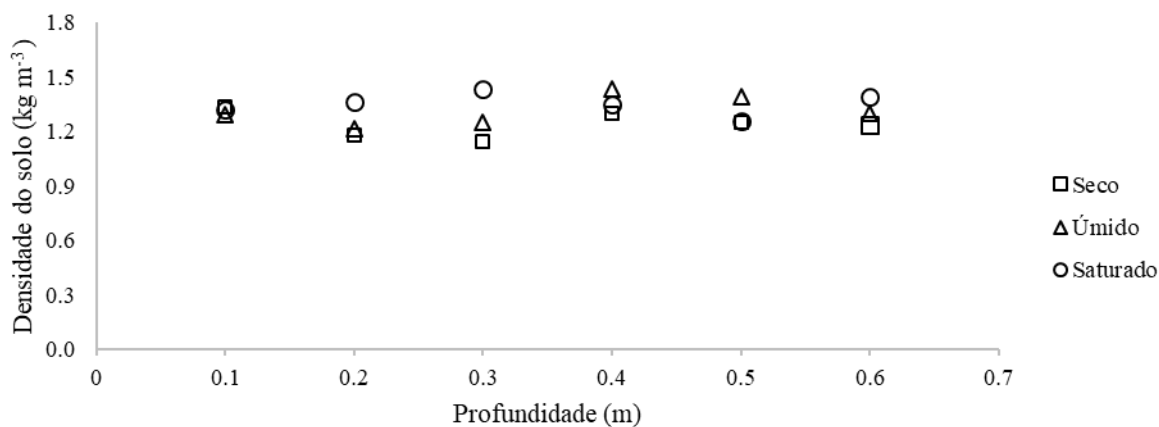


Figura 4. Densidade do solo ao longo do perfil do solo (0,1-0,6 m) nos três níveis de umidade propostos (seco, úmido, saturado).

Os valores de umidade volumétrica ao longo do perfil obedeceram às suas respectivas condições impostas de umedecimento do solo, mas, de modo geral as maiores médias foram verificadas a partir de 0,40 m, em resposta ao avanço da frente de molhamento. Nas condições “úmido” e “saturado”, mesmo as amostras sendo obtidas em dias distintos (um e 6 dias após a plena infiltração dos 200 L de água) os valores de umidade estiveram próximos, diferindo apenas nas primeiras camadas do solo.

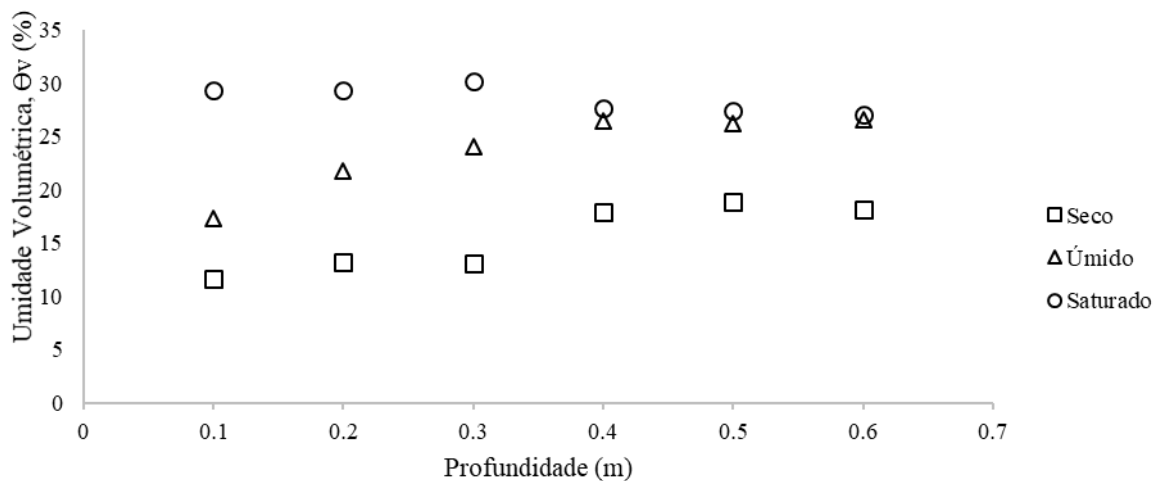


Figura 5. Umidade volumétrica ao longo do perfil do solo (0,1-0,6 m) nos três níveis de umidade propostos (seco, úmido, saturado).

As equações de calibração da sonda FDR faixa observada em vários estudos, como os ajustadas para as diferentes camadas do solo, obtidos por FARES et al. (2004) e SILVA et al. (2008). A exceção foi de 0-0,10 m de Calibrações individuais por profundidade (R² > 0,66), provavelmente melhorou quase todos os coeficientes de correlação e minimizou o erro quadrado devido à influência da atmosfera e a matéria orgânica, pois a constante dielétrica dos solos médio. Os coeficientes de determinação tem grande variabilidade dependendo do tipo obtidos para as profundidades de 0,10-0,60m de mineral de argila do solo e matéria orgânica foram elevados (R² > 0,93), estando dentro da (BAUMHARDT et al., 2000).

Tabela 1. equações de calibração para a sonda de capacitância para diferentes camadas do solo, utilizando um modelo de potência

Camadas (m)	Equações de calibração	de R ²	Erro Padrão	W ⁽¹⁾	N ⁽²⁾	Umidade (m ³ .m ⁻³)	
						Mínima	Máxima
0-0,10	$\theta_v = 0,318FR^{1,125}$	0,6611	0,051	0,99	9	0,112	0,301
0,10-0,20	$\theta_v = 0,3693FR^{1,5243}$	0,9317	0,020	0,99	9	0,122	0,295
0,20-0,30	$\theta_v = 0,4432FR^{2,0831}$	0,9735	0,013	0,99	9	0,122	0,306
0,30-0,40	$\theta_v = 0,3309FR^{0,9563}$	0,9858	0,006	0,99	9	0,170	0,286
0,40-0,50	$\theta_v = 0,3206FR^{0,8331}$	0,9892	0,004	0,99	9	0,184	0,278
0,50-0,60	$\theta_v = 0,4007FR^{1,7743}$	0,9351	0,012	0,99	9	0,175	0,283
0-0,60	$\theta_v = 0,350FR^{1,2763}$	0,7905	0,029	0,99	54	0,112	0,306

⁽¹⁾ W = Teste de normalidade de Shapiro-Wilk (P > 0,05); ⁽²⁾ N= número de dados usados para ajustar a equação.

Comparando-se o resultado, obtido neste estudo, com a calibração do fabricante nota-se que a curva do fabricante subestimou a umidade volumétrica em relação à calibração local em 7,1% entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo.

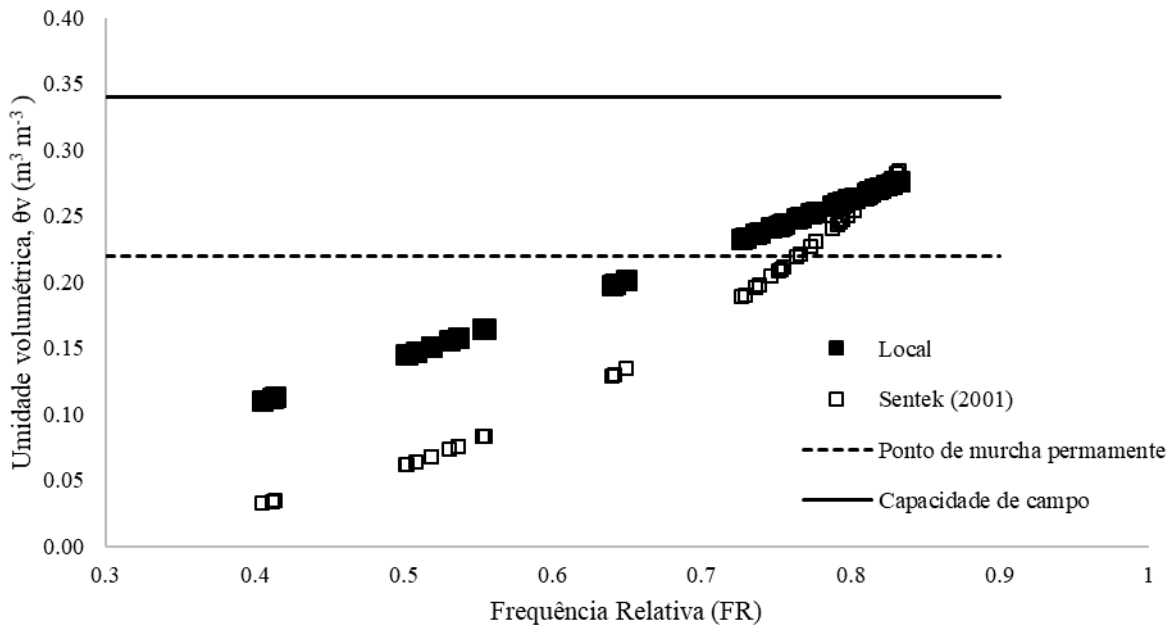


Figura 6. Comparação entre a curva de calibração efetuada com a sonda Diviner 2000®.

CONCLUSÕES

- A sonda FDR (modelo Diviner 2000) é adequada para determinação da umidade a partir de uma calibração para o solo de interesse.
- O modelo que melhor se ajustou foi o modelo potencial.
- Apesar de subestimar θ_v (em média de 7,1%) em relação à calibração local entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo a curva de calibração padrão do equipamento Diviner 2000® é aceitável para o estudo, sendo menor que 10%.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JR, A. S.; SILVA, C. R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 2, p. 303-307, 2007.
- BAUMHARDT, R. L.; LASCANO, R. J.; EVETT, S. R. Soil material, temperature and salinity effects on calibration of multisensor capacitance probes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1940-1946, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema**

- Brasileiro de Classificação de Solo.** 3 ed. Brasília, 2013. 353 p.
- FARES, A.; BUSS, P.; DALTON, M.; BLYTH, K.; COOPER, J. D. Duall field calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay soil. **Valdese Zone Journal**, Madison, v. 4, p. 1390-1399, 2004.
- GRAVALOS, I. G.; MOSHOU, D. E.; LOUTRIDIS, S. J.; GIALAMAS, T. A.; KATERIS, D. L.; TSIROPOULOS, Z. Th.; XYRADAKIS, P. I. Design of a pipeline sensor-based platform for soil water content monitoring. **Biosystems Engineering**, v. 113, n. 1, p. 1-10, 2012.
- GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; SILVA, H.C.; ARAÚJO, M.C. Irrigação do cafeeiro no cerrado: estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina: Embrapa Cerrados. Embrapa Cerrados. **Comunicado técnico 122**, p. 1-4, 2005.
- LEIB, B. G.; JABRO, J. D.; MATTHEWS, G. R. Field evaluation and performance comparison of soil moisture sensors. **Soil Science**, Baltimore, v. 168, n. 6, p. 396-408, 2003.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A. CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. Brasília: **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)**, p. 1-16, 1999.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L.C.; SILVA, H.R. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema método prático de manejo. 2 ed. Brasília: **Embrapa Informação e Tecnológica**, p. 1-150, 2008.
- MARTÍN-VERTEDOR, A. I.; RODRÍGUEZ, J. M. P.; LOSADA, H. P.; CASTIEL, E. F. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca). II: Water use, fruit and oil yield. **Agricultural Water Management**, v. 98, p.950-958, 2011.
- MENDES, W. C.; ALVES JUNIOR, J.; DA CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Nitrate and potassium leaching and the response of the common bean to different irrigation blades. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 34, p. 3188-3196, 2016.
- NIJLAND, W.; MEIJDE, M. V. D.; ADDINK, E.A.; JONG, S.M. de. Detection of soil moisture and vegetation water abstraction in a Mediterranean natural area using electrical resistivity tomography. **Catena**, v. 81, n. 3, p. 209-216, 2010.
- PALTINEANU, I. C.; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Gl. Sci Technol, Rio Verde**, v.12, n.03, p.145-155, set/dez. 2019.

- Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1576-1585, 1997.
- SENTEK. Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.
- SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUSA, A. B. de.; MELO, F. B. de; COELHO FILHO, M. A. Calibration of Diviner 2000® capacitance probe in a Rhodic Paleudult. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 636-640, 2007.
- SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, C. F. Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem. In: Souza CF (Ed.) Aplicações de Técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental. Taubaté, Unitau. p.25-45, 2008.
- SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR E FDR. **Irriga Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, v. 1, n. 1, p. 26-42, 2016.
- VELDKAMP, E.; O'BRIEN, J.J. Calibration of a frequency domain reflectometry sensor for humid tropical soils of volcanic origin. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1549-1553, 2000.
- ZHANG, B., KANG, S., LI, F.; TONG, L.; DU, T. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 11, p.1898-1904, 2010.