

Calibração de Sensor de Capacitância para a Medida da Umidade em Neossolo Quartzarênico no Semiárido

Calibration of a Capacitance Sensor for Moisture Measurement in Neossolo Quartzarênico in Brazilian Semi-Arid Region

Luciana Martins Santos¹; Bruno Ricardo Silva Costa²; Luís Henrique Bassoi³

Resumo

O monitoramento da umidade do solo é essencial para o manejo adequado da irrigação, podendo ser realizado por vários métodos, como o que a relaciona com as propriedades dielétricas do solo. O objetivo deste trabalho foi obter curvas de calibração para um sensor capacitivo para medida da umidade do solo. Amostras de um Neossolo Quartzarênico foram coletadas a 0,20-0,30 m, 0,50-0,60 m e 0,80-0,90 m de profundidade, em área irrigada do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina, PE. As equações de calibração foram obtidas a partir da análise de regressão da relação entre a umidade do solo (q , $m^3.m^{-3}$) e a tensão elétrica de saída do sensor (V). As equações lineares e não lineares (quadrático) explicam a relação entre as variáveis estudadas. Foram obtidos altos valores de coeficiente de correlação ($r > 0,90$) e de determinação ($r^2 > 0,90$) para ambas as curvas de calibração, obtidas para as três camadas de solo. A validação dos modelos foi ratificada pelo

¹Estudante de Biologia, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina, PE, bolsista PIBIC/CNPq.

²Tecnólogo em Gestão de Fruticultura Irrigada, pós-graduando em Engenharia Agrícola, Univasf, Juazeiro, BA, bolsista da FAPESB.

³Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciências, pesquisador, Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. luis.bassoi@embrapa.br.

índice de desempenho (c) classificado como ótimo ($c > 0,85$), sendo obtido índice de concordância (d) maior que 0,90 entre os valores de q observados e simulados. Além disso, verificaram-se baixos valores do erro médio associado às funções de regressão.

Palavras-chave: agricultura de precisão, irrigação, solo arenoso.

Introdução

Indispensável à vida, a água também é um recurso essencial para a produção agrícola. Portanto, o conhecimento da umidade do solo é de suma importância para o manejo eficiente da irrigação.

Dentre os métodos indiretos de determinação deste parâmetro, os sensores capacitivos têm o princípio de funcionamento baseado na capacitância elétrica, determinando a umidade do solo a partir da medida da permissividade dielétrica do meio, que, por sua vez, se refere à medida da constante dielétrica do solo. Essa propriedade se relaciona diretamente à quantidade de água presente no meio, por causa da variação da constante dielétrica das frações sólida, líquida e gasosa do solo. Contudo, é necessária a calibração dos mesmos para os tipos de solo a serem monitorados, em razão das diferenças físicas que os mesmos apresentam (CRUZ et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi a obtenção de curvas de calibração de um sensor capacitivo para a determinação da umidade de um solo de textura arenosa, do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina, PE.

Material e Métodos

Em uma área de cultivo irrigado de videira, no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, lote 180, em Petrolina, PE (latitude $9^{\circ} 23' S$, longitude $40^{\circ} 39' O$, altitude 394 m), amostras deformadas de um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (SANTOS et al., 2006) foram coletadas nas camadas de 0,20-0,30 m, 0,50-0,60 m e 0,80-0,90 m de profundidade, com a finalidade da determinação da umidade do solo para calibração do sensor capacitivo.

As amostras de solo foram secas, peneiradas e analisadas quanto à composição granulométrica ($g.kg^{-1}$), densidade do solo ($d_s, kg.dm^{-3}$), e densidade de partículas ($d_p, kg.dm^{-3}$). A porosidade total foi determinada pela relação $[1 - (d_s / d_p)] \times 100$ (SILVA, 1999).

O sensor de umidade calibrado foi o Irrigap. Utilizou-se um cilindro de PVC com 100,0 mm de diâmetro nominal e 0,20 m de altura, 0,10 m de diâmetro externo e 0,097 m de diâmetro interno. Na parte inferior do tubo de PVC, foi colada uma manta de bidin e uma grelha de plástico para evitar a perda de solo e permitir apenas a saída de água da coluna. Este conjunto de material e o sensor foram pesados. Após a inserção da sonda de capacitância, foi realizado o preenchimento do tubo de PVC até a altura de 0,15 m.

O conjunto composto pelo cilindro de PVC, grelha, manta, sensor de umidade e solo foi inicialmente pesado, repetindo-se essa operação em intervalos de 10 minutos e, em sequência, a cada 30 minutos, durante o período da manhã (das 8h às 12h), em ambiente com temperatura constante. Após esse período, o conjunto foi submetido à secagem em estufa a 40 °C (das 12h às 16h) por um período que variou entre 15 a 18 dias. Nesse intervalo foram observadas variações do peso da coluna de solo úmido (g) e do valor de tensão elétrica de saída do dispositivo (V), por meio de uma balança eletrônica digital, com resolução de 0,01 g; e de um multímetro digital, com leitura em escala de 2 V e resolução de 1 mV.

As curvas de calibração com base nos modelos linear e não linear (quadrático) foram obtidas por meio de análise de regressão a partir da relação entre a variação de umidade ($q, m^3. m^{-3}$) e da tensão elétrica de saída do sensor (V). Do mesmo modo, para a validação dos modelos, a umidade observada e a estimada foram relacionadas para cada modelo de regressão com os seguintes índices de desempenho: coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (r^2); índice de concordância (d) (WILLMOT, 1981) e coeficiente de desempenho (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). Consideraram-se, ainda, os índices raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), além da decomposição dos erros referentes aos modelos em erro sistemático ($RMSE_s$) e erro não sistemático ($RMSE_u$) (WILLMOT, 1981).

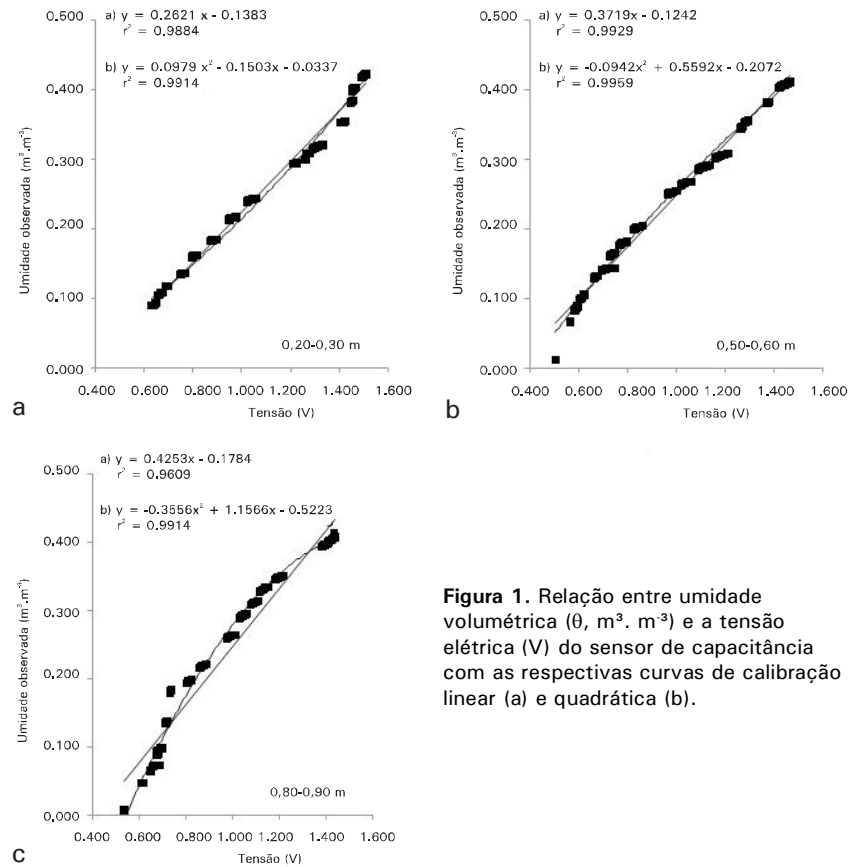
Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os valores de composição granulométrica, densidade do solo e partículas, e porosidade do Neossolo Quartzarênico utilizado no estudo.

Tabela 1. Composição granulométrica, densidade do solo e das partículas, e porosidade do solo referente às amostras coletadas.

Amostra	Granulometria (g.Kg ⁻¹)			Densidade (Kg.dm ⁻³)		Porosidade (%)
	Areia Total	Silte	Argila	Solo	Partículas	
0,20-0,30 m	834,9	139,5	25,6	1,32	2,48	46,77
0,50-0,60 m	805,4	184,6	10,0	1,38	2,54	45,66
0,80-0,90 m	809,8	162,6	27,6	1,35	2,55	47,04

Os valores de variação de q da amostra de solo e as medidas de tensão elétrica são apresentados na Figura 1. Verificou-se a ocorrência de correlação linear entre os parâmetros avaliados, em que maiores valores de tensão elétrica estão associados a maiores valores de q . Na correlação não linear, foi observado alto valor do coeficiente de determinação (R^2), superior ao valor determinado pelo modelo linear.

**Figura 1.** Relação entre umidade volumétrica (θ , $m^3 \cdot m^{-3}$) e a tensão elétrica (V) do sensor de capacitância com as respectivas curvas de calibração linear (a) e quadrática (b).

A Figura 2 mostra a relação entre θ medida e θ estimada, representada tanto de modo linear como quadrático, onde os valores de r^2 foram satisfatórios ($0 < r^2 < 1$).

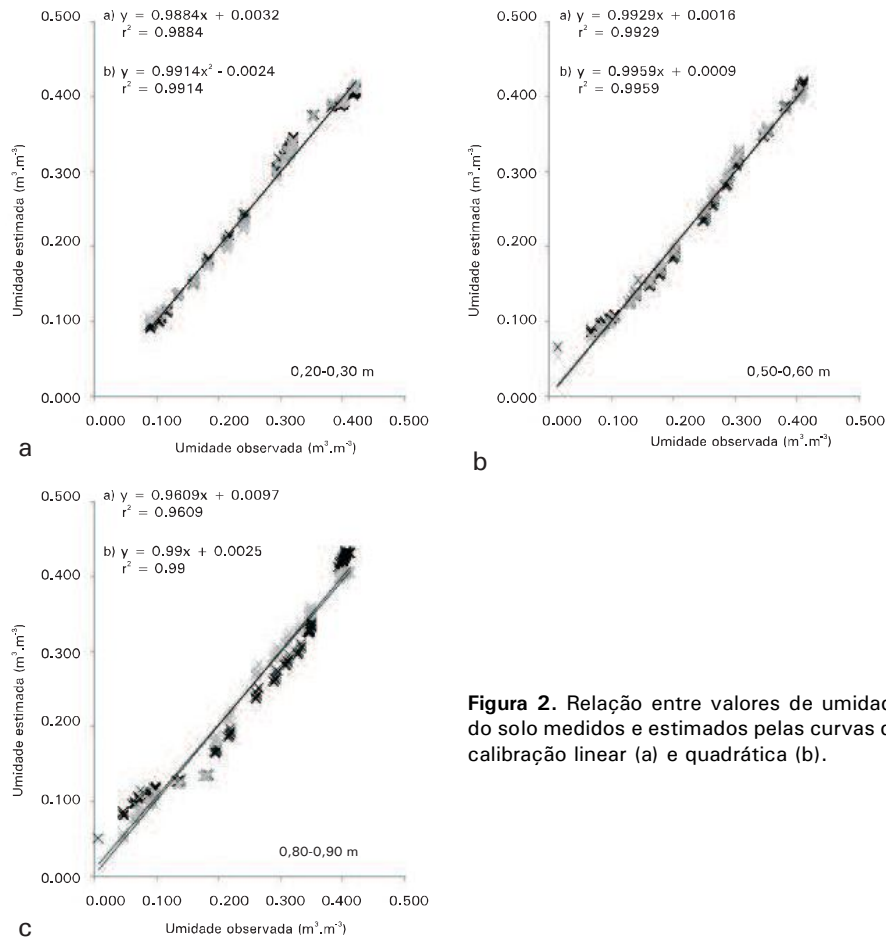


Figura 2. Relação entre valores de umidade do solo medidos e estimados pelas curvas de calibração linear (a) e quadrática (b).

As equações de calibração se ajustaram aos dados de modo exato e preciso, conforme indicado, respectivamente, pelos altos valores do coeficiente de correlação (r) e índice de concordância (d). O índice de desempenho, que define a precisão com que os dados foram medidos, foi classificado como ótimo ($c > 0,85$) para ambos os modelos, com erro associado ao linear entre $0,0100 < \text{RMSE} < 0,0256 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e ao quadrático entre $0,0076 < \text{RMSE} < 0,0129 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Tabela 2). Em outro estudo de calibração de sonda de

capacitância para a medida de θ , Silva et al. (2007) obtiveram alta correlação e baixo erro. Terra et al. (2008) relataram a discrepância entre os valores de umidade obtidos mediante a calibração feita para o solo específico e a calibração fornecida pelo fabricante da sonda, realçando a importância da calibração para o solo em que o sensor será utilizado.

Tabela 2. Índices estatísticos usados para teste dos modelos obtidos para a estimativa da umidade do solo a partir dos valores observados e estimados.

Amostra	Modelo	r	r ²	d	c	RMSE	RMSE _s	RMSE _u
0,20-0,30 m	Linear	0,9942	0,9884	0,9971	0,9913	0,0122	0,0013	0,0121
	Quadrático	0,9957	0,9914	0,9978	0,9935	0,0105	0,0010	0,0105
0,50-0,60 m	Linear	0,9964	0,9929	0,9982	0,9946	0,0100	0,0008	0,0100
	Quadrático	0,9980	0,9959	0,9990	0,9969	0,0076	0,0005	0,0076
0,8-0,9 m	Linear	0,9803	0,9609	0,9899	0,9704	0,0256	0,0051	0,0251
	Quadrático	0,9950	0,9900	0,9975	0,9925	0,0129	0,0013	0,0129

r – coeficiente de correlação; r² – coeficiente de determinação; d – índice de concordância; c – índice de desempenho; RMSE – raiz quadrada do erro quadrático médio; RMSE_s – raiz quadrada do erro sistemático; RMSE_u – raiz quadrada do erro não sistemático.

Conclusão

A calibração do sensor de capacitância para o Neossolo Quartzarênico descreveu a relação entre umidade do solo e tensão do sensor com precisão e exatidão.

Referências

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CRUZ, T. M. L.; TEIXEIRA, A. S. T.; CANAFÍSCULA, F. J. F.; SANTOS, C. C. dos.; OLIVEIRA, A. D. S de.; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.33-45, 2010.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. il.

SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF : Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p. il.

SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B. de; MELO F. B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a capacitance probe in a paleudult. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 6, p. 636-640, 2007.

TERRA, V. S. S.; REISSER JUNIOR, C.; TIMM, L. C.; CARVALHO, G. C. Calibração de uma sonda de capacitância em um Argissolo Vermelho Amarelo em Pelotas – RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10., 2008. Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel: AEM, 2008. 1 CD-ROM.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Birmingham, v. 2, p. 184-194, 1981.