



XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013

Fábrica de Negócios - Fortaleza - CE - Brasil

04 a 08 de agosto de 2013



## CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE CAPACITÂNCIA IRRIGAP<sup>®</sup> PARA A MEDIDA DA UMIDADE EM SOLO DO SEMIÁRIDO

BRUNO RICARDO SILVA COSTA<sup>1</sup>, LUCIANA MARTINS SANTOS<sup>2</sup>, LUÍS HENRIQUE BASSOI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tecnólogo em Gestão de Fruticultura Irrigada, Pós-graduando em Engenharia Agrícola, UNIVASF, Juazeiro-BA, bolsista da FAPESB. bruno.ricardo.silva@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas, UPE, Petrolina-PE, bolsista PIBIC CNPq. luciiianamartins@hotmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro agrônomo, pesquisador, Embrapa Semiárido, Petrolina-PE. luis.bassoi@embrapa.br

Apresentado no

XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013

04 a 08 de Agosto de 2013 - Fortaleza - CE, Brasil

**RESUMO:** O monitoramento do conteúdo de água do solo fornece a informação sobre o volume de água nele armazenado, sendo que tal procedimento pode ser realizado por métodos diretos e indiretos. Dentre estes últimos, destacam-se aqueles baseados na relação existente entre as propriedades dielétricas e a umidade do solo. Contudo, sendo um método indireto de estimativa da umidade do solo, a utilização de sonda de capacitância requer calibração para a estimativa deste parâmetro na condição local de instalação, de modo a incrementar a sua precisão. Este trabalho teve como objetivo a determinação das curvas de calibração para o sensor capacitivo IRRIGAP<sup>®</sup>, em condições de laboratório, sendo esta referente às amostras de solo coletadas em três diferentes intervalos de profundidade (0,2-0,3 m, 0,5-0,6 m, 0,8-0,9 m) em um Neossolo Quartzarênico, de uma área irrigada em Petrolina-PE. Tanto o modelo linear quanto o modelo quadrático podem representar a relação entre umidade do solo e tensão do sensor, com altos ajustes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor de capacitância, textura arenosa, umidade do solo.

### CALIBRATION OF IRRIGAP<sup>®</sup> CAPACITANCE SENSOR TO MOISTURE MEASUREMENT IN A SOIL FROM THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

**ABSTRACT:** The monitoring of soil water content provides the information about the water volume stored into the soil, and this measurement can be accomplished by direct and indirect methods. Among these indirect methods, there are techniques based on the relation between the soil dielectric properties and its moisture. As an indirect method, the use of capacitance probe requires calibration for the local condition to increase its precision. The purpose of this study was the determination of the calibration equations of IRRIGAP<sup>®</sup> capacitive sensor, in laboratory conditions, with samples collected at three different soil depths (0.2-0.3 m, 0.5-0.6 m, 0.8-0.9 m) of a Neossolo Quartzarênico, from an irrigated agricultural area of Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The results show that linear and quadratic regression models represent the relation between soil moisture and the sensor tension with high adjustments.

**KEYWORDS:** Capacitance probe, sandy texture, soil moisture.

**INTRODUÇÃO:** Em termos de cultivos agrícolas, o volume de água armazenado em determinado perfil de solo constitui-se um fator de fundamental importância. A disponibilidade de água neste meio é fator ambiental limitante para o desenvolvimento de plantas, por este parâmetro estar relacionado aos processos fisiológicos associados à produção vegetal e, conseqüentemente, ao rendimento das culturas. Dessa forma, o monitoramento da umidade do solo constitui-se de prática indispensável de suporte ao manejo de irrigação eficiente, que se dá a partir do conhecimento do teor de água no solo, sendo que tal procedimento pode ser realizado por métodos diretos ou indiretos. Para fins de manejo prático da irrigação, essa informação auxilia no momento e na quantidade de água a ser aplicada por

um sistema de irrigação na zona radicular efetiva de uma cultura. Bernardo et al. (2006) afirmam que há vários métodos para determinar a umidade do solo, sendo os gravimétricos, eletrométricos, tensiométrico, técnica de moderação de neutrons e TDR (reflectometria no domínio do tempo) os mais comuns e usados em irrigação. De acordo com Silva et al. (2008) os métodos indiretos são aqueles que estimam o teor de água no solo a partir de outras propriedades deste. Neste contexto, sensores de umidade por capacitância são alternativas aos métodos tradicionais de quantificação do teor de água do solo, fornecendo leituras seguras, rápidas e em profundidade no perfil avaliado (SILVA et al., 2007). Em se tratando de sensores com este princípio de funcionamento, os mesmos baseiam-se na medida da permissividade dielétrica deste meio, a qual corresponde à medida da constante dielétrica (K) do solo, propriedade que se relaciona diretamente à quantidade de água presente, dada a variação da constante dielétrica dos componentes constituintes – para o ar, K é praticamente igual a do vácuo, ou seja, igual a 1; para um solo seco, K normalmente varia de 2 a 5, enquanto para água seu valor é de aproximadamente 81 (SILVA et al., 2008). Contudo, considerando que diferentes propriedades físicas do solo influenciam no seu armazenamento de água, faz-se necessário uma calibração das sondas capacitivas em função das condições específicas do local de sua instalação. Dessa forma, o estudo objetivou a obtenção de curvas de calibração para o sensor de capacitância IRRIGAP<sup>®</sup>, considerando as condições de três diferentes intervalos de profundidade (0,20-0,30 m, 0,50-0,60 m, 0,80-0,90 m) de um Neossolo Quartzarênico correspondente a uma área agrícola irrigada em Petrolina-PE.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado a partir de amostras de solo coletadas em área de produção agrícola irrigada localizada no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, no município de Petrolina PE (latitude 9° 23' S, longitude 40° 39' O, altitude 394 m). O solo do local em questão foi classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006). As amostras coletadas foram submetidas a procedimento de secagem e peneiramento antes do início do procedimento de calibração. Além disso, determinou-se para cada a sua composição granulométrica, a densidade do solo e de partículas além da sua porosidade total.

Para o monitoramento da umidade, o sensor de capacitância utilizado foi o IRRIGAP<sup>®</sup>. O equipamento em questão tem princípio capacitivo, com eletrodos em geometria espiralada que integra a umidade em seção de 10 cm em torno da haste do monitor na profundidade especificada.

Na realização da calibração do sensor de umidade em condições de laboratório, a partir de técnica volumétrica, utilizou-se um cilindro de PVC com diâmetro nominal (DN) de 100,0 mm e dimensões de 0,20 m de altura (h), diâmetro externo (DE) de 0,10 m e diâmetro interno (DI) de 0,097 m. Foi acoplada uma grelha de PVC no fundo do cilindro, sendo esta coberta por uma manta de bidim cortada em formato circular, com diâmetro equivalente ao diâmetro interno do tubo. Após montagem, este primeiro conjunto de materiais e o sensor foram pesados. Em seguida, o sensor de umidade foi centralizado no cilindro e este último preenchido com massa conhecida de solo seco. Por fim, o conjunto foi imerso em recipiente contendo água, para saturar o solo de seu interior por capilaridade.

O conjunto composto pelo cilindro de PVC, grelha, manta, sensor de umidade e solo foi pesado diariamente, em intervalos de 10 minutos, num primeiro momento e, na sequência, a cada 30 minutos, durante o período da manhã (das 08:00 às 12:00 h), em ambiente com temperatura constante. Nestes intervalos foram realizadas observações referentes às variações do peso da coluna de solo úmido (g) e do valor de tensão elétrica de saída do dispositivo (V), ambas em função da variação do conteúdo de água das amostras. Para estas observações foram utilizados: 1) uma balança eletrônica digital, modelo UW/UX Series Shimadzu<sup>®</sup> (resolução de 0,01g); e 2) um multímetro digital, modelo MD-6122 ICEL<sup>®</sup> (leitura em escala de 2V e resolução de 1mV). A partir das pesagens do conjunto, o teor de umidade nas amostras de solo foi calculado por meio da determinação da massa de água contida nas mesmas, correspondente a cada observação, sendo esta obtida pela diferença entre a massa úmida e a massa seca do solo. As medidas de variação de peso da coluna de solo e de tensão de saída do sensor de umidade foram realizadas durante um período de 15 a 18 dias, variando conforme a perda de água das amostras, as quais foram submetidas à secagem em estufa a 40°C diariamente, por 4 horas (das 12:00 às 16:00 h), logo após a coleta dos dados.

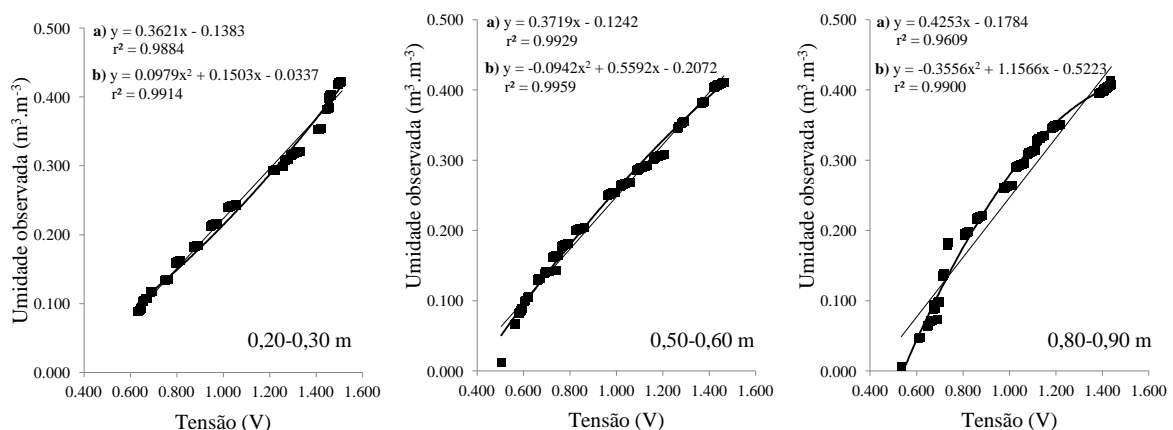
Por meio de análise de regressão foram descritas funções matemáticas que caracterizaram a relação entre a umidade do solo em base de volume ( $\Theta$ ,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e a resposta do sensor (V), obtendo-se curvas de calibração para cada amostra em questão, considerando os modelos 1) linear e 2) não linear (quadrático). De mesma forma, para o teste dos modelos, relacionou-se a umidade observada com a estimada a partir de cada modelo de regressão. Nesta avaliação dos modelos obtidos, utilizou-se os seguintes índices de desempenho estatístico: 1) coeficiente de correlação (r); 2) coeficiente de determinação ( $r^2$ ); 3) índice de concordância (d) (WILLMOT, 1981) e coeficiente de desempenho (c) (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Considerou-se ainda os índices 1) raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) além da decomposição dos erros referentes aos modelos em erro sistemático (RMSEs) e erro não sistemático (RMSEu) (WILLMOT, 1981). Utilizou-se o software Microsoft Office Excel® para plotagem dos dados, construção dos gráficos de dispersão, determinação dos parâmetros dos modelos de regressão e cálculo dos índices estatísticos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Tabela 1 apresenta os resultados de análise física do solo quanto à granulometria, densidade e porosidade das amostras avaliadas. Percebeu-se a predominância de um maior teor de areia em relação às outras frações granulométricas em todas as camadas analisadas, sendo a densidade do solo e de partículas, bem como a porosidade total, assumindo valores semelhantes entre si, indicando uma homogeneidade no perfil, característica deste tipo de solo. Como afirmado por Junqueira et al. (2010), os Neossolos Quartzarênicos se originam de depósitos arenosos e apresentam textura areia ou areia franca até 2 m de profundidade, com teor de argila inferior a 15%.

**Tabela 1.** Composição granulométrica, densidade do solo e das partículas, e porosidade do solo referente às amostras coletadas em três diferentes intervalos de profundidade.

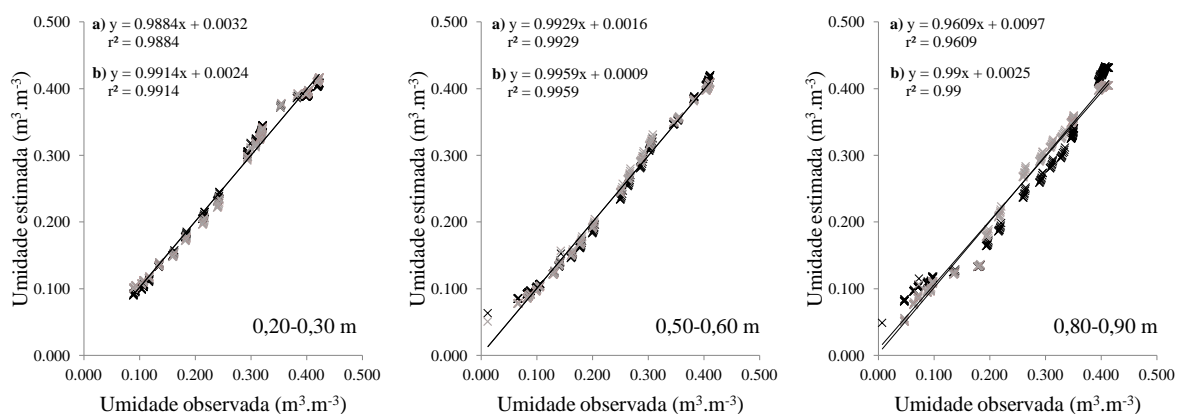
Amostra	Granulometria ( $\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$ )			Densidade ( $\text{Kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )		Porosidade (%)
	Areia total	Silte	Argila	Solo	Partículas	
0,2-0,3 m	834,9	139,5	25,6	1,32	2,48	46,77
0,5-0,6 m	805,4	184,6	10,0	1,38	2,54	45,66
0,8-0,9 m	809,8	162,6	27,7	1,35	2,55	47,04

A representação gráfica dos dados referentes à variação de umidade das amostras de solo analisadas ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e as medidas correspondentes de tensão elétrica de saída (V) do sensor de umidade IRRIGAP® é apresentada em diagramas de dispersão na Figura 1.



**Figura 1.** Relação entre valores de tensão elétrica de saída do sensor IRRIGAP® e a variação de umidade do solo e curvas de calibração obtidas por modelo de regressão linear (a) e quadrático (b).

Verificou-se que os modelos estão associados a valores de  $r^2$  próximo de 1, sendo, portanto, bastante explicativos da relação entre os parâmetros avaliados, indicando que as curvas de calibração obtidas ajustam-se de forma satisfatória ao conjunto de dados. Observou-se a ocorrência de correlação positiva ( $0 < r^2 < 1$ ) devido à variação da tensão e  $\Theta$  ser diretamente proporcional. A Figura 2 representa a relação entre a  $\Theta$  medida e a  $\Theta$  estimada a partir das equações de calibração obtidas para cada amostra.



**Figura 2.** Relação entre o teor de umidade do solo observado e estimado a partir dos modelos linear (a) e quadrático (b) para as profundidades de 0,2-0,3; 0,5-0,6 e 0,8-0,9 m.

A partir destes resultados, viu-se que as curvas de calibração apresentaram boa precisão e exatidão, conforme indicado pelo coeficiente de correlação ( $r$ ) e índice de concordância ( $d$ ), respectivamente, com desempenho dos modelos ( $c$ ) classificado como “ótimo” ( $c > 0,85$ ). Além disso, foram obtidos baixos valores referentes ao erro médio produzido pelos mesmos (RMSE).

**Tabela 2.** Resumo dos índices estatísticos para teste dos modelos obtidos para estimativa da umidade do solo a partir dos valores observados e previstos.

Amostra	Modelo	$r$	$r^2$	$d$	$c$	RMSE	RMSE <sub>s</sub>	RMSE <sub>u</sub>
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
0,80-0,90 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;  $r^2$  – e coeficiente de determinação;  $d$  – índice de concordância;  $c$  – índice de desempenho; RMSE – raiz quadrada do erro quadrático médio ( $m^3.m^{-3}$ ); RMSE<sub>s</sub> – raiz quadrada do erro sistemático; RMSE<sub>u</sub> – raiz quadrada do erro não sistemático.

**CONCLUSÕES:** As curvas de calibração do sensor de capacitância IRRIGAP<sup>®</sup> obtidas para o Neossolo Quartzarênico descrevem com precisão e exatidão a variação da umidade do solo.

## REFERÊNCIAS:

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Ed. UFV, 8.ed. Viçosa, MG. 2006. 625p.
- 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, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- JUNQUEIRA, K.R.; CORRECHEL, V.; CUSTÓDIO FILHO, R. de O.; SANTOS, F.C.V. dos; JUNQUEIRA, M. de F.R. Estabilidade de agregados de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem e mata em Baliza-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.6, n.10. Goiânia, 2010.
- SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, S. de A.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B. de; MELO F. B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. **Scientia Agrícola**, v.64, n.6, p. 636-640. Piracicaba. 2007.
- SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, S. de A.; SOUZA, C. F. **Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem**. In: II Workshop de aplicações de técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental. 2008.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI; Embrapa Solos, 2006. 306p.