

## CALIBRAÇÃO DA SONDA DE CAPACITÂNCIA ENVIROSCAN®

**DÉBORA COSTA CAMARGO<sup>1</sup>; JUAN IGNÁCIO CÓRCOLES TENDERO<sup>2</sup>; JOSÉ FERNANDO ORTEGA ÁLVAREZ<sup>3</sup>; FRANCISCO MONTOYA SEVILLA<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Ciência e Engenharia Agrária, Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Ctra. de Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, Espanha. debora.costa@alu.uclm.es

<sup>2</sup> Prof.º Dr. Engenheiro Agrônomo, Contratado de Proyecto, CREA, UCLM, Ctra. de Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, Espanha. juanignacio.corcoles@uclm.es

<sup>3</sup> Prof.º Dr. Engenheiro Agrônomo, CREA, UCLM, Ctra. de Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, Espanha. jose.ortega@uclm.es

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciência e Engenharia Agrária, CREA, UCLM, Ctra. de Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, Espanha. francisco.montoya@uclm.es

### 1 RESUMO

Medir o teor de umidade do solo mediante procedimentos fáceis de aplicar, práticos e precisos, foi considerado um desafio tecnológico importante nos últimos anos, por isso o desenvolvimento de sensores apropriados para o uso agrícola é um tema ativo de pesquisa. Existem diferentes métodos para estimar a umidade do solo em campo (gravimetria, sonda de neutrons, tensiómetros, etc). Apesar de ser um tipo de medição indireta, os métodos dielétricos (incluindo sensores FDR e TDR) proporcionam boa precisão de leitura, porém todo método indireto necessita de uma calibração local. O objetivo do trabalho é a calibração das sondas de capacitância EnviroSCAN® em laboratório para estudo da variação temporal do teor de água no solo. A equação calibrada é um modelo exponencial com  $R^2 = 0,92$  e permitiu aumentar a precisão na determinação da umidade volumétrica. Na aplicação da equação calibrada em experimento de campo foi possível observar que a equação criou uma maior amplitude para as leituras de umidade no solo.

**Palavras-Chave:** Umidade do Solo, Sondas de Capacitância, Sensor FDR.

**CAMARGO, D. C.; TENDERO, J. I. C.; ÁLVAREZ, J. F. O.; SEVILLA, F. M.  
CALIBRATION OF ENVIROSCAN® CAPACITANCE PROBE**

### 2 ABSTRACT

The measurement of soil moisture content, by using simple, practical and accurate methods, has been a really important technologic challenging for the last years, along with the use of soil sensors. Several methods are used in order to estimate the soil moisture, such as gravimetric method, neutron probe, tensiometers, among others. Dielectric methods, such as Frequency Domain Reflectometry (FDR) and Time Domain Reflectometry (TDR), which are indirect methods for measuring soil moisture, have high accuracy. According to these indirect methods, a calibration is needed *in situ*. The aim of this work is to carry out a laboratory calibration of EnviroSCAN® capacitance probe. The equation obtained, which is an exponential model ( $R^2 = 0,92$ ), made possible to measure the soil volumetric water content, besides to increase its measuring range.

**Keywords:** Soil Moisture, Capacitance Probe, Frequency Domain Reflectometry Probe.

### 3 INTRODUÇÃO

Na agricultura irrigada atual, para realizar um manejo adequado dos recursos hídricos, é importante conhecer e controlar o teor de umidade no solo e sua evolução temporal. O monitoramento da água no solo é fundamental para explicar uma série de processos, tais como, balanço de água no solo, velocidade de infiltração, escoamento superficial, crescimento e desenvolvimento da cultura, etc (Hillel, 1998). Além dos estudos da uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação, também é importante estudar a distribuição da água no solo, já que esse fator é o que realmente afeta os rendimentos da cultura.

O monitoramento da água no solo pode realizar-se através de diversos métodos, onde cada um apresenta uma série de vantagens e inconvenientes. A obtenção do conteúdo de água no solo deve apresentar como características principais a rapidez, confiabilidade e capacidade de monitoramento. A eleição do método adequado está relacionado com aspectos como precisão do instrumento, seu comportamento em distintos tipos de solo e seu custo (Vauclin, 1984).

Os métodos de medida de água no solo se classificam em diretos (gravimetria) e indiretos (sonda de neutrons, sondas TDR (time domain reflectometry), sondas FDR (time domain reflectometry), sensores de resistência elétrica (Watermark®) e tensiômetros). Os métodos indiretos, em geral, apresentam o inconveniente de modificar as condições do perfil natural do solo. Os métodos tipo FDR tem uma melhor precisão e apresentam como vantagens sua rápida resposta a medida, não ser nocivo a saúde do operador, ter grande capacidade de armazenamento de dados e permite a obtenção de um registro contínuo de dados ao longo de todo perfil do solo (Paltineanu & Starr, 1997)

Os métodos FDR determinam a constante dielétrica do solo e a partir disso o conteúdo de água (Paltineanu & Starr, 1997). O método utiliza o solo como parte de um condensador, de tal forma que medindo sua capacitância se obtém a constante dielétrica do solo, conseqüentemente, seu teor de água. Este tipo de sensor permite um registro de dados em um datalogger, oferecendo medidas precisas mas que necessitam de calibração, principalmente, em solos argilosos ou com altos conteúdos de matéria orgânica (Paltineanu & Starr, 1997; Starr & Paltineanu, 1998; Fares & Alva, 2000). No entanto, a sonda apresenta como inconveniente a utilização de um escasso volume de solo para as determinações da capacitância, o que obriga uma perfeita instalação do tubo de acesso das sondas (Evet & Steiner, 1995; Tomer & Anderson, 1995; Ould Mohamed et al., 1997; Hidalgo et al., 2003).

As sondas de capacitância EnviroSCAN® são um exemplo do método de medida indireto do tipo FDR. A qualidade dos dados registrados pela sonda vai depender da qualidade da calibração obtida entre o sinal de saída do sensor (frequência medida) e o teor de água no solo. As sondas de capacitância EnviroSCAN® (Sentek, 2001) se baseia no monitoramento da evolução de umidade em lugares fixos, que devem ser previamente selecionados mediante estudo ou reconhecimento dos solos que compõe a área irrigada.

Quando se utiliza a sonda EnviroSCAN® deve se levar em consideração os possíveis erros de leitura que se pode produzir na utilização de uma curva de calibração incorreta, na instalação em campo (alterar a estrutura do solo que circunda o tubo PVC) ou os erros produzidos pelas variações de temperatura no solo.

Paltineanu & Starr (1997) descrevem que o funcionamento do sensor de capacitância inserido no tubo de acesso está potencialmente afetado por possíveis umidades dentro do

tubo, pela desuniformidade da espessura da parede do tubo e de bolsas de ar formadas em volta do tubo causadas por uma má instalação. Porém esses problemas se reduzem com uma correta instalação dos tubos de acesso e com sensores calibrados adequadamente.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi a calibração das sondas de capacitância EnviroSCAN® em laboratório, utilizando solo de uma parcela experimental localizada em Aguas Nuevas, na província de Albacete – Espanha, e depois da calibração das sondas, comprovar o funcionamento da curva de calibração obtida diante da instalação em campo dos sensores calibrados, e assim, estudar a variação temporal do teor de água do solo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do processo de calibração foi utilizado solo de uma parcela experimental localizada em Aguas Nuevas, província de Albacete (Castilla-La Mancha – Espanha). Esta zona apresenta uma elevada altitude média (700 m), baixa pluviometria anual (inferior a 400 mm) com distribuições irregulares ao longo das estações, apresentando estiagem entre os meses de junho e setembro (de Juan et al., 2001). A área do experimento possui uma superfície de aproximadamente 5 ha irrigada por pivô central. A área selecionada para abertura do perfil do solo e posteriormente coleta do solo para calibração, corresponde a uma zona representativa do setor onde se estabeleceu a cultura.

De acordo com a descrição do perfil, o solo apresenta três horizontes separados entre capa arável ( $Ap_1$ , 0-21 cm), horizonte  $Ap_2$  (21-40 cm) e horizonte C (40-70 cm). Em base a análise físico-químico do solo (Tabela 1), se pode destacar que o pH é básico, o que pode causar problemas de disponibilidade de alguns micronutrientes, é ligeiramente salino, a capa arável apresenta adequada matéria orgânica que diminui a maiores profundidades. A relação carbono- nitrogênio indica que existe uma boa humificação da matéria orgânica do solo e uma adequada liberação de nitrogênio.

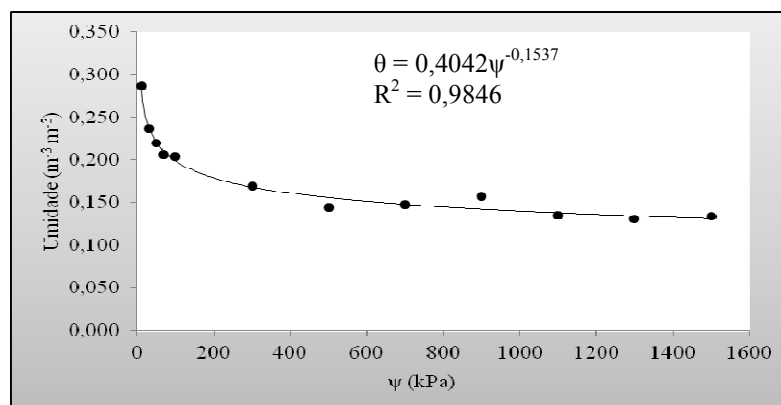
De acordo com a USDA (2006), o solo foi caracterizado como da ordem dos Neossolos. São solos jovens calcários, próprios de planícies aluviais que recebem sedimentos de zonas com maior erosão, apresentam pouca matéria orgânica e granulometria franco-arenosa.

**Tabela 1.** Análise físico-químico do solo.

| Determinações                                  | Horizontes       |                 |                  |
|------------------------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
|                                                | Ap <sub>1</sub>  | Ap <sub>2</sub> | C                |
| pH                                             | 8,67             | 8,62            | 8,40             |
| CE (mmhol cm <sup>-1</sup> )                   | 0,41             | 0,44            | 3,99             |
| Cloretos (mg)                                  | 37,00            | 26,00           | 23,00            |
| Matéria orgânica total (%)                     | 2,84             | 2,70            | 0,92             |
| Nitrogênio total (%)                           | 0,16             | 0,16            | 0,06             |
| Relação C/N                                    | 10,33            | 10,00           | 9,33             |
| Nitrogênio nítrico (ppm)                       | 6,67             | 15,33           | 17,67            |
| Fósforo assimilável (ppm)                      | 35,33            | 32,67           | 10,33            |
| Carbonatos totais (%)                          | 38,70            | 52,60           | 33,80            |
| Calcário ativo (%)                             | 12,87            | 12,40           | 13,50            |
| Potássio assimilável (meq 100g <sup>-1</sup> ) | 0,98             | 0,85            | 0,18             |
| Sódio assimilável (meq 100g <sup>-1</sup> )    | 0,92             | 0,97            | 0,96             |
| Cálcio assimilável (meq 100g <sup>-1</sup> )   | 20,47            | 18,66           | 19,20            |
| Magnésio assimilável (meq 100g <sup>-1</sup> ) | 3,88             | 3,74            | 3,69             |
| Relação K/Mg                                   | 0,25             | 0,23            | 0,05             |
| Relação Ca/Mg                                  | 5,27             | 4,99            | 5,00             |
| CTC                                            | 12,67            | 13,67           | 12,67            |
| Textura (U.S.D.A.)                             | FAA <sup>1</sup> | FAA             | FAg <sup>2</sup> |

<sup>1</sup>Franco argilo arenosa; <sup>2</sup>Franco argilosa. Textura (Bouyoucos); pH: (1:2,5 água); CE: condutividade elétrica (1:5 ou pasta saturada); matéria orgânica (Walkley-Black); nitrogênio total (Kjeldahl); nitrogênio nítrico (Extração com sulfato cálcico); fósforo assimilável (Olsen); carbonatos totais (calcímetro Bernard); calcário ativo (oxalato amônico; calcímetro Bernard); potássio, cálcio, sódio y magnésio assimilável (acetato amônico, espectrofotometria absorção atômica).

Para a construção da curva característica de umidade do solo foi utilizada a metodologia da câmara Richards, onde se determinou que o ponto de capacidade de campo do solo ( $\theta_{CC}$ ) é 0,238 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e o ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) é 0,138 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Camargo, 2011). A continuação se mostra a curva de umidade do solo e sua respectiva equação (Figura 1).

**Figura 1.** Curva de retenção de umidade.

#### 4.1 Calibração

As sondas EnviroSCAN® contam com sensores que podem ser distribuídos ao longo de um metro de profundidade, permitindo de este modo, obter dados a diferentes horizontes do solo. Cada sensor, de 5,1 cm de diâmetro e 7,5 cm de comprimento, teoricamente mede uma distancia axial de 10 cm, porém 93% do sinal radial só detecta uma diatância de 3 cm do tubo de acesso (Paltineanu & Starr, 1997). Foram desenhados para ser enterrados diretamente no solo colocados dentro de um tubo de PVC (Kutílek & Nielsen, 1994).

Para realizar a calibração foi utilizado um tubo de PVC de 30 cm de diâmetro e 60 cm de altura, herméticamente fechado na parte inferior para evitar perdas de umidade. No centro do cilindro de calibração foi colado um tubo de PVC de 51 mm (dimensões recomendadas pelo fabricante, Sentek, 2001) (Figura 2a). Dentro do cilindro de calibração foi colocado solo seco na mesma ordem que se apresentavam no do perfil natural do solo, respeitando a profundidade de cada horizonte, a fim de representar as mesmas condições de campo (Figura 2b). A secagem do solo foi feita em estufa a 105°C.

A quantidade de solo utilizada foi a necessária para preencher o cilindro até as profundidades de cada horizonte, a fim de reproduzir no cilindro as mesmas condições de distribuição dos horizontes do perfil natural. O proceso de calibração do perfil artificial no cilindro de calibração se realizou mediante cuidadosa colocação dos três horizontes do perfil, assegurando-se um bom contato entre o solo e o tudo de acesso da sonda, tratando de reproduzir a densidade aparente original.



**Figura 2.** Cilindro de calibração (a) e seu interior preenchido com solo (b).

Depois de estabelecida as umidades objetivo foi agregado ao solo uma quantidade de água baseada no seu peso seco, misturando com cuidado até ficar homeogeneo. O EnviroSCAN® foi programado para fazer uma leitura por minuto durante oito minutos. Os dados foram armazenados em um datalogger e posteriormente visualizados através do software IrriMAX® (Sentek, 2001). Se realizaram medidas de frequência, para cada umidade aplicada, em seis tubos com sensores localizados a 10, 20, 30 e 40 cm de profundidade. Depois de realizada as leituras, foi recolhido três amostras de solo de cada horizonte, dentro do cilindro de calibração, para se determinar a umidade gravimétrica. O procedimento se

repetiu tantas vezes o solo permitiu, já que o mesmo chega a um estado de pegajosidade onde não é possível realizar as leituras.

De acordo com as recomendações do fabricante, todos os sensores foram normalizados em ar e água (Figura 3a e b) (Sentek, 2001). Estas leituras de normalização marcam o intervalo no qual os sensores serão capazes de detectar o teor de umidade no solo. A sonda calcula o valor de umidade em função de uma relação existente entre a umidade e a frequência normalizada.

$$SF = (FA - FS) / (FA - FW)$$

1

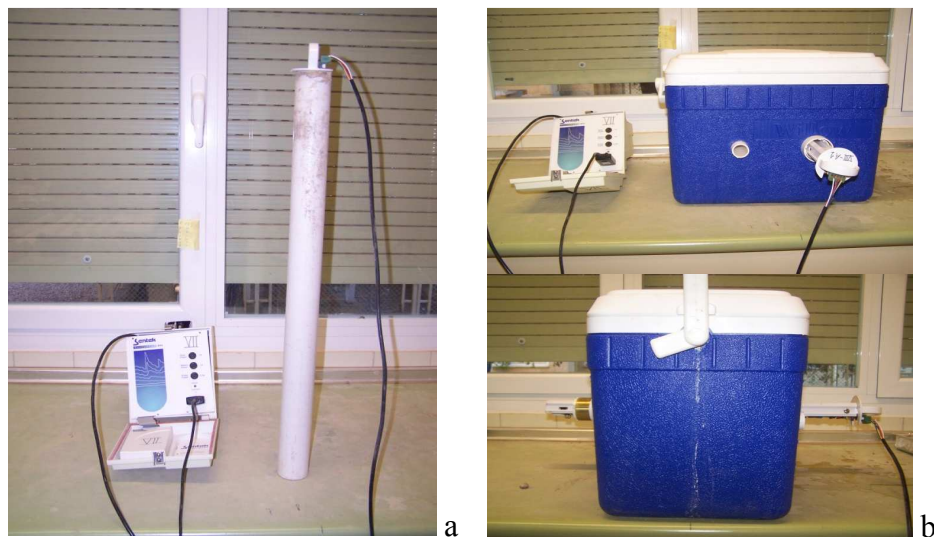
em que:

SF = frequência normalizada;

FA = leitura de frequência do sensor em ar;

FW = leitura de frequência do sensor em água;

FS = leitura de frequência do sensor no solo.



**Figura 3.** Normalização do sensor em ar (a) e água (b).

Desta forma, o teor de água no solo ( $\theta$ ) é uma função exponencial de SF (Equação 2). O modelo exponencial é indicado pelo fabricante e utilizado pela maioria dos autores (Kutílek & Nielsen, 1994; Paltineanu & Starr, 1997; Girona et al., 2002; Hidalgo et al., 2003; Moreno-Pérez et al., 2005).

$$\theta = \{(SF-c)/a\}^{(1/b)}$$

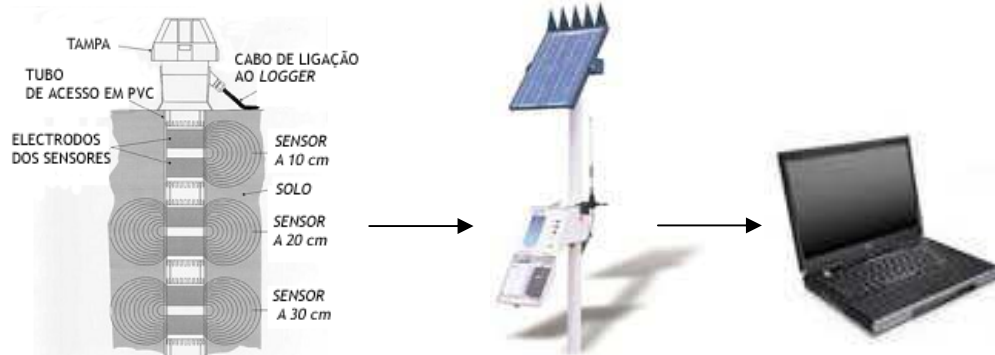
2

em que, a, b e c são coeficientes que variam segundo a calibração.

#### 4.2 Utilização das sondas na parcela experimental.

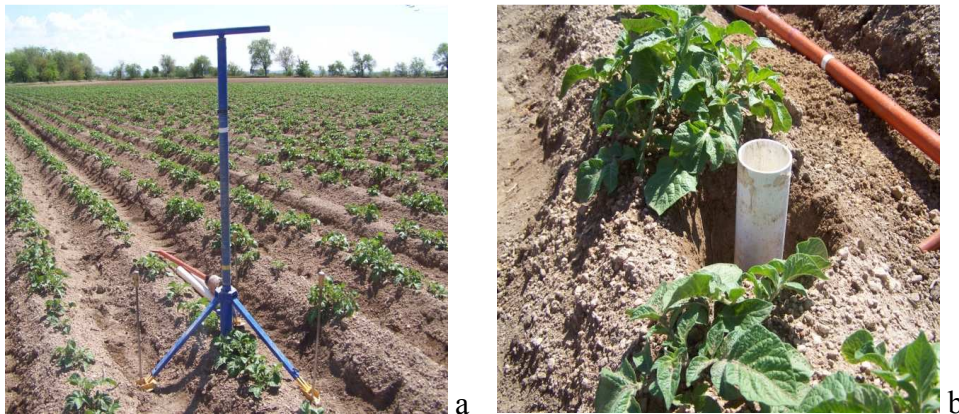
Para verificar o funcionamento das sensores calibrados em laboratório, os mesmos foram instalados numa parcela experimental cultivada com batata irrigada por pivô central, onde se manejava um experimento de lâmina de irrigação deficitária. Os sensores foram instalados na parcela que recebia menor aporte de água por possivelmente apresentar resultados mais significativos para o estudo da oscilação de água.

Cada sonda estava conectada por cabo a um datalogger central alimentado por placa solar que armazenava as leituras do sensor com frequência pré-determinada (a cada hora). Posteriormente, os dados foram descarregados em um computador de campo onde se utilizou o software IriMAX® para visualizar as leituras (Figura 4).



**Figura 4.** Esquemática do manejo dos sensores EnviroSCAN®

Para se introduzir os tubos no solo foi utilizado o Kit de instalação recomendado pelo fabricante (Figura 5). Para que o tubo ficasse totalmente vertical foi colocado um tripé de extração previamente nivelado, e foi extraído solo até alcançar 50 cm de profundidade. Todos os tubos estavam limpos e herméticamente fechados na parte interior para evitar erros de leitura por entrada de água.



**Figura 5.** Kit de instalação Sentek (a), tubo instalado (b)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Normalização.

Instalaram-se os valores normalizados de FA e FW no equipamento e estes foram mantidos para todas as medidas. Para as sondas utilizadas no experimento os valores de FA e FW se mostram na tabela 2.

**Tabela 2.** Leitura de frequência dos sensores em ar e água.

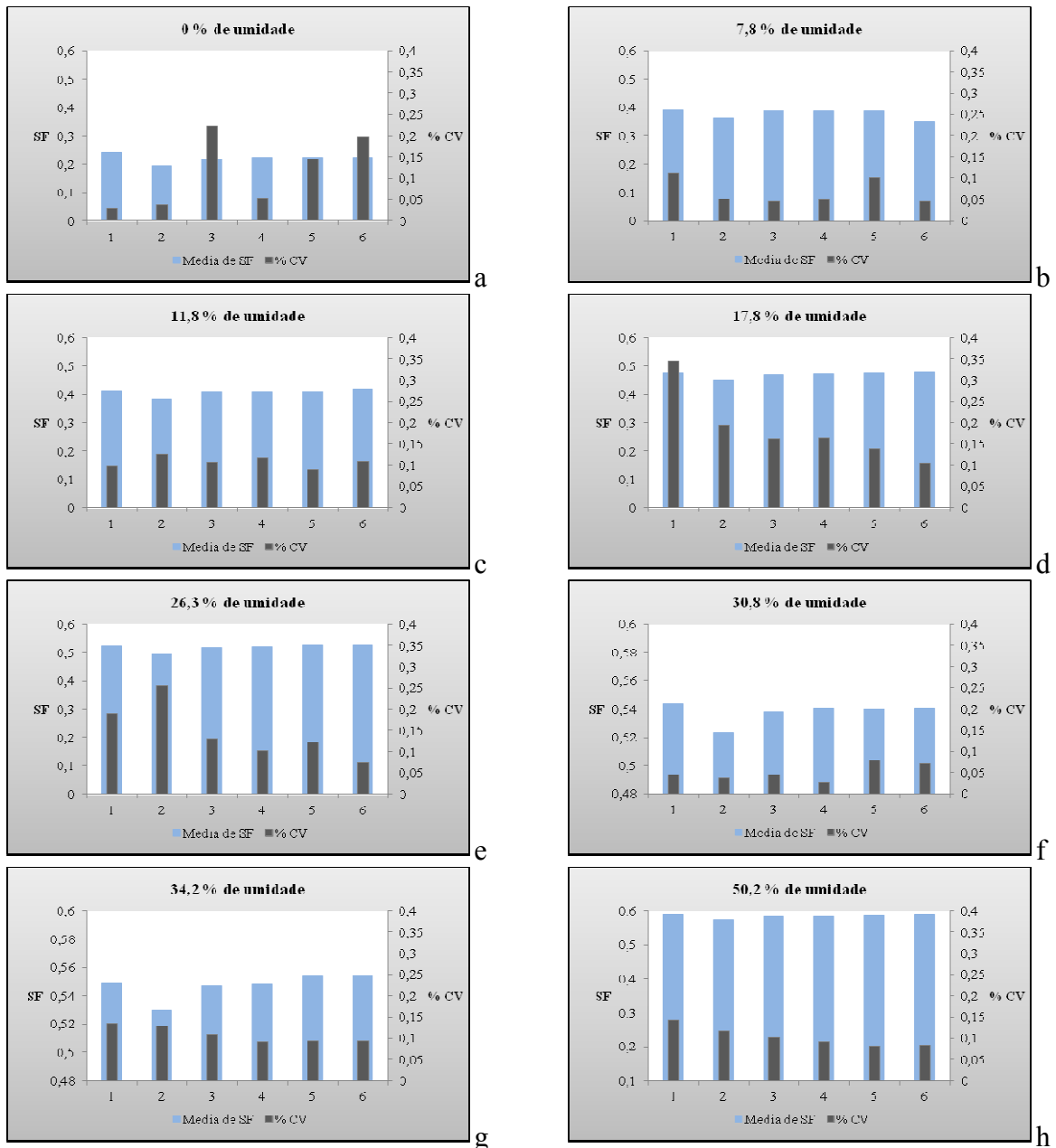
| Tubo | Profundidade (cm) | FA    | FW    |
|------|-------------------|-------|-------|
| 1    | 10                | 36367 | 24983 |
|      | 20                | 36456 | 25065 |
|      | 30                | 35752 | 25032 |
|      | 40                | 36046 | 24740 |
| 2    | 10                | 36907 | 25319 |
|      | 20                | 36724 | 25312 |
|      | 30                | 36229 | 24903 |
|      | 40                | 36740 | 24773 |
| 3    | 10                | 36292 | 24943 |
|      | 20                | 36423 | 25135 |
|      | 30                | 36177 | 25132 |
|      | 40                | 36580 | 25035 |
| 4    | 10                | 36970 | 25126 |
|      | 20                | 36800 | 25231 |
|      | 30                | 36775 | 25212 |
|      | 40                | 36657 | 24986 |
| 5    | 10                | 37138 | 25394 |
|      | 20                | 36848 | 25160 |
|      | 30                | 35949 | 25015 |
|      | 40                | 36543 | 25001 |
| 6    | 10                | 37121 | 25183 |
|      | 20                | 36552 | 25168 |
|      | 30                | 36859 | 25291 |
|      | 40                | 36158 | 24802 |

## 5.2 Calibração.

Na figura 6, para as umidades reais obtidas, se apresentam os valores de SF e sua variabilidade (expressada através do coeficiente variação, %CV), para cada um dos tubos de estudo na profundidade de 20 cm. Foi considerada essa profundidade como exemplo por ser a mais representativa para as características da cultura da batata, pois é onde se apresenta a maior concentração do sistema radicular e é a área de maior desenvolvimento do tubérculo. Com a análise dos dados foi possível localizar as leituras anômalas de algumas sondas, e assim repará-las.

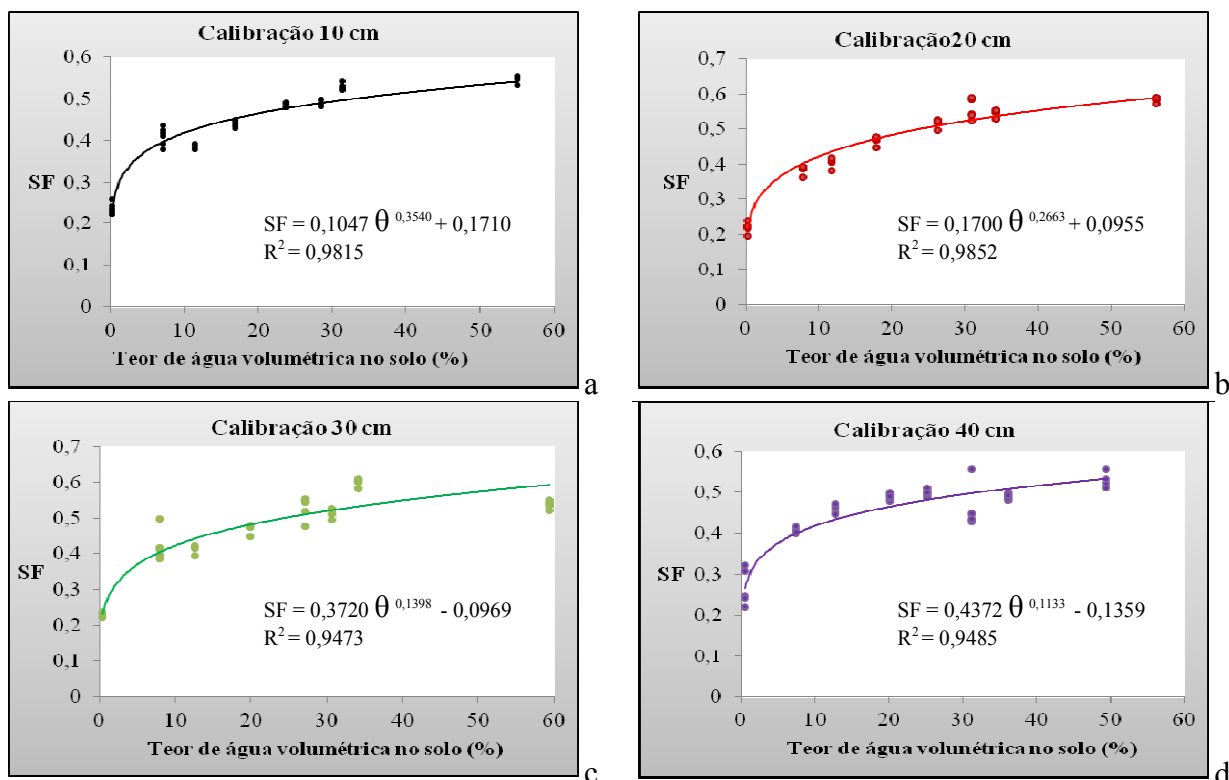
Se observa que os valores dos coeficientes de variação são baixos para todas as unidades testadas, o que demonstra a confiabilidade dos dados de partida (leitura dos tubos). Com este resultado foi possível continuar as análises utilizando a média de SF de todos os tubos para cada humidade.





**Figura 6.** Coeficiente de variação e média de SF para os seis tubos de repetição para as umidades de 0% (a), 7,8% (b), 11,8% (c), 17,8% (d), 26,3% (e), 30,8% (f), 34,2% (g) e 50,2% (h).

A partir das leituras realizadas para cada umidade foi possível obter uma equação de calibração para cada profundidade estudada utilizando a média da leitura de capacitância dos seis tubos de sonda utilizados (Figura 7).

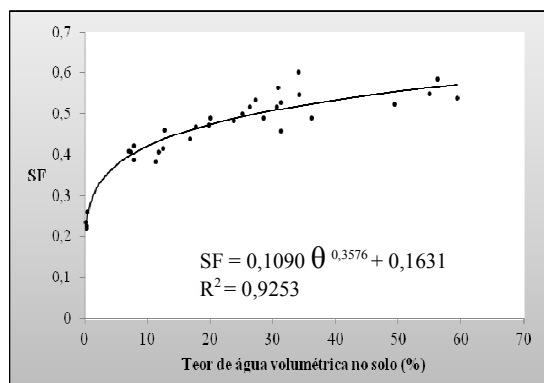


**Figura 7.** Curva de calibração para as profundidades de 10 cm (a), 20 cm (b), 30 cm (c) e 40 cm (d)

Como pode se observar na tabela 3, não existem diferenças significativas entre os valores de SF (frequência normalizada) nas distintas profundidades, de maneira que, se optou por obter uma curva de calibração geral (Figura 8) para todo o perfil estudado.

**Tabela 3.** Análise descritiva dos dados de SF obtidos a partir das sondas.

| Profundidades | 10 cm   | 20 cm     | 30 cm   | 40 cm   |
|---------------|---------|-----------|---------|---------|
| Média         | 0,43916 | 0,46189   | 0,46592 | 0,44803 |
| Mínimo        |         | 0,2203    |         |         |
| Máximo        |         | 0,6018    |         |         |
| % CV          |         | 23,38     |         |         |
| F             |         | 0,1082 ns |         |         |



**Figura 8.** Curva de calibração geral do perfil do solo

Os valores dos coeficientes a, b e c da equação exponencial  $SF=a \theta^b + c$  do fabricante é mostrada na tabela 4, junto com modelos de calibração de outros autores que também trabalharam com sondas de capacitancia.

**Tabela 4.** Parâmetros a, b e c para a curva do fabricante, comparado com parâmetros de outros autores.

| <i>Função</i>                       | a      | b      | c        | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|--------|--------|----------|----------------|
| Fabricante <sup>1</sup>             | 0,1957 | 0,4040 | 0,02852  | 0,9737         |
| Silva et al (2007) <sup>2</sup>     | 0,4920 | 2,7570 | -        | 0,9300         |
| Fares et al. (2004) <sup>2</sup>    | 0,4400 | 1,5490 | -0,04000 | 0,8800         |
| Willians et al. (2003) <sup>1</sup> | 1,6500 | 0,5500 | 0,12000  |                |
| Willians et al. (2003) <sup>2</sup> | 1,4400 | 0,3270 | -        |                |
| Hidalgo et al. (2003) <sup>2</sup>  | 0,1154 | 0,6186 | -        | 0,8082         |
| Morgan et al. (1999) <sup>2</sup>   | 0,4510 | 2,1210 | -        | 0,8300         |

<sup>1</sup> calibrações com EnviroSCAN®

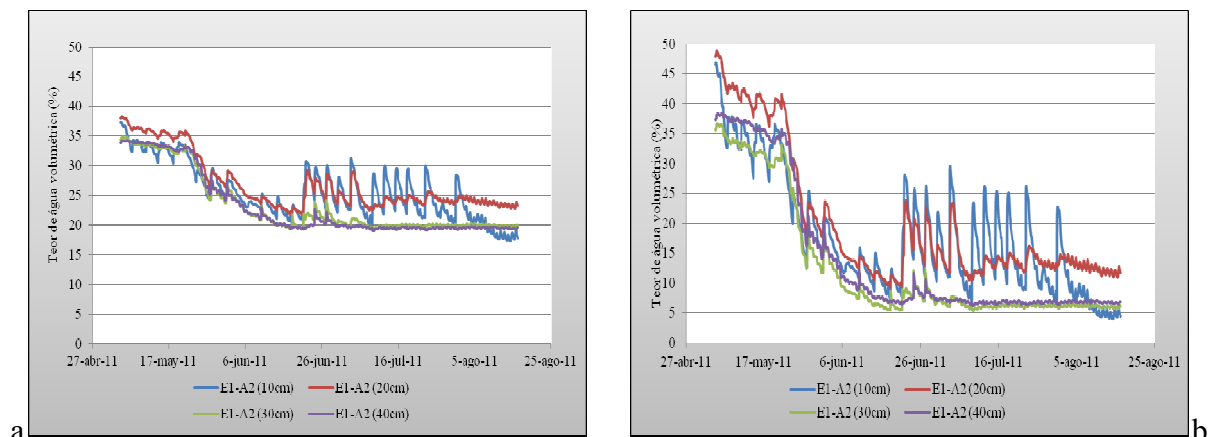
<sup>2</sup> calibrações com Diviner®

### 5.3 Aplicação em parcela experimental.

Uma vez obtida a função de calibração, o seguinte passo foi comprovar em campo os valores de umidade alcançados e ver a variabilidade espacial existente entre os pontos.

Os gráficos correspondem a uma parcela onde foi aplicado um tratamento de déficit hídrico, irrigando somente 60% das necessidades hídricas da cultura. Na equação do fabricante (Figura 9a) o teor de umidade sempre alcançou valores acima de 20%, mesmo nas últimas semanas de maio quando se iniciou a diferenciação dos tratamentos de irrigação e a descarga de água na parcela foi menor, entretanto, se pode afirmar que esses valores de umidade não são reais, já que a capacidade de campo do solo é de 23,8%.

Utilizando a equação calibrada (Figura 9b) foi possível detectar a aplicação do déficit hídrico no solo. É importante observar que a equação calibrada proporciona uma maior amplitude de leitura dos dados.



**Figura 9.** Aplicação da equação facilitada pelo fabricante (a) comparada com a equação de calibração (b) no movimento de água no solo.

A equação do fabricante sobreestimou os menores valores da umidade do solo e subestimou os maiores valores de umidade. Resultados contrários foram encontrados por Silva et al. (2007) onde a equação de calibração sobreestimou valores de umidade em comparação com a do fabricante.

Pode-se observar que nas profundidades mais superficiais (10 e 20 cm) é onde existe a mudança de umidade mais brusca no solo, facilmente explicado por essa zona conter o maior volume de raízes e maior atividade microbológica. Nas profundidades de 30 e 40 cm a umidade se mantém constante ou com poucos incrementos importantes, o que indica que a excessiva quantidade de água que chegava nas mesmas.

## 6 CONCLUSÕES

As sondas de capacitância FDR permitem registro de valores da umidade do solo, possibilitando informações diretas e em tempo real.

Os sensores devem ser calibrados, devido a influência de outros fatores independentes do teor de umidade, para aumentar sua exatidão e precisão.

A obtenção de uma curva de calibração para cada horizonte permite melhorar a precisão da relação entre a constante dielétrica e a umidade volumétrica, quando comparada com a equação proposta pelo fabricante.

A equação calibrada criou uma maior amplitude para as leituras de umidade do solo, o que permitiu detectar a aplicação do déficit hídrico na parcela experimental.

## 7 REFERÊNCIAS

de JUAN, J. A.; TARJUELO, J. M.; ORTEGA, F. Rasgos básicos de los factores naturales del espacio agrario castellano-manchego. Sector Agrario Castilla - La Mancha. UCLM y Caja Castilla, p. 17-34, 2001.

CAMARGO, D. C. Determinación de curvas de retención de agua para el analisis de la dinámica hídrica del suelo. Albacete, 2011. 16p. Trabajo de prácticas (Master en ciencia e ingeniería agrarias) - Universidad de Castilla – La Mancha, UCLM.

EVETT, R. S.; STEINER, J. L. Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 961-968. 1995.

FARES, A.; ALVA, A. K. Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 311-318, 2000.

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. **Vadose Zone Journal**, v.4, p.1390-1399, 2004.

GIRONA, J.; MATA, M.; FERERES, E.; GOLDHAMER, D. A.; COHEN, M. Evapotranspiration and soil water dynamics of peach trees under water deficits. **Agricultural Water Management**, v. 54, p. 107-122, 2002.

HIDALGO, J.; PASTOR, M.; HIDALGO, J. C. Evaluación de una sonda FDR para la estimación de la evolución del contenido de agua en el suelo y para el control de riegos en olivar. **Estudios de la Zona No Saturada del Suelo**, n. 4, p. 171-176, 2003.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. Academic Press, San Diego, 1998.771p.

KUTILEK, M.; NIELSEN, D. R. **Soil hydrology**. Cremlingen-Destedt, 1994. 370p.

MORENO-PÉREZ, M. F.; VILLALOBOS-MARTÍN, F.; FERERES, E. Verificación de un equipo FDR para la medida del contenido de agua del suelo en dos sistemas de cultivo. **Ingeniería del agua**, v. 12, n. 4, p. 345-359, 2005.

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.

OULD MOHAMED, S.; BERTUZZI, P.; BRUEND, A.; RAISON, L.; BRUCKLER, L. Field evaluation and error analysis of soil water content measurement using the capacitance probe method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 399-408, 1997.

PALTINEANU, I. C.; STARR, Y. 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. Calibration of Sentek Pty Ltd Soil Moisture Sensors. Stepney: Sentek Pty Ltd., 2001. 54p.

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

STARR, Y. J. L.; PALTINEANU, I. C. Real-time soil water dynamics over large areas using multisensor capacitance probes and monitoring system. **Soil & Tillage Research**, n. 47, p. 43-49, 1998.

TOMER, M. D.; ANDERSON, J. L. Field evaluation of a soil water-capacitance probe in a fine sand. **Soil Science**, v. 159, p. 90-97, 1995.

VAUCLIN, M. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements: 2. Spatial standpoint. **Soil Science**, v. 137, p. 141-148, 1984.

WILLIAMS, B.; NEIVANDT, R.; O'KANE, M.; BROWNE, D.; WHITE, C. Laboratory Calibration and Initial Results of a Soil Moisture Monitoring System at the Mt Leyshon Tailings Dam and Waste Rock Cover System. **Cairns**, v. 6, p. 411-417, 2003.