

## CURVA DE CALIBRAÇÃO DA TDR USO DE MULTIPLEXADORES

MARCOS DE S. CAMPOS<sup>1</sup>, LAINA DE A. QUEIROZ<sup>2</sup>, EUGENIO F. COELHO<sup>3</sup>, ANDRADE A. DOS SANTOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutorando, Engenharia Agrícola, UFRB. Cruz da Almas – BA. Email: [marcoffc.ufersa@hotmail.com](mailto:marcoffc.ufersa@hotmail.com).

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia/UFRB. Cruz da Almas – BA. Email: [lainadandrad@hotmail.com](mailto:lainadandrad@hotmail.com).

<sup>2</sup> Doutor, Pesquisador, EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cruz da Almas – BA. Email: [eugenio.coelho@embrapa.br](mailto:eugenio.coelho@embrapa.br)

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia/UFRB. Cruz da Almas – BA. Email: [andradeagronomia@otlook.com](mailto:andradeagronomia@otlook.com).

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017  
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** A eficiência no uso da água é crucial para agricultura irrigada, com isso a medição da umidade do solo é essencial para manejo de irrigação e pesquisa. Um dos métodos mais recentes é a reflectometria no domínio do Tempo (TDR) que se baseia na correlação existente entre constante dielétrica do solo e a umidade. O objetivo do presente trabalho foi comparar a curva de calibração realizada com as leituras feitas direto no reflectometro TDR com a curva obtida a partir de leituras realizadas com multiplexadores. O trabalho foi realizado no Laboratório de irrigação da Embrapa mandioca e Fruticultura de Cruz da Almas/BA. O teste T foi realizado na planilha do Excel. A determinação das curvas de calibração foi realizada a partir das coletas não destrutivas de três amostras de solos com colunas de PVC, na área experimental da Embrapa. Observou-se diferença significativa a ( $p < 0,05$ ) entre as curvas obtidas com a TDR e as obtidas com multiplexadores. As curvas de calibração da umidade do solo devem ser feitas separadamente para leituras feitas diretamente na TDR e as realizada com multiplexadores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sonda TDR, constante dielétrica, Umidade

## CALIBRATION CURVE IN COMPARISON WITH TDR AND MULTIPLEXERS

**ABSTRACT:** The efficient use of water is crucial for irrigated agriculture, that makes soil moisture as a essential tool for irrigation management and research. One of the newest methods for soil moisture is the Time Domain reflectometry (TDR) which is based on correlation between dielectric constant and soil moisture. The objective of this study was to compare the calibration curve performed with the readings taken directly to TDR reflectometer and the curve obtained from readings taken with multiplexers. The study was conducted at Embrapa irrigation Laboratory Cassava & Fruits, Cruz das Almas, BA. The T test was performed in the Excel worksheet. The curves calibration were carried out from the non-destructive collection of three samples of soils with PVC columns in the experimental area of Embrapa. There was significant difference ( $p < 0.05$ ) between the curves obtained with TDR and those obtained with multiplexers. Soil moisture calibration curves must be made separately for readings directly on TDR and performed with multiplexers.

**KEYWORDS:** TDR probe, dielectric constant, humidity

**INTRODUÇÃO:** A técnica da TDR vem sendo difundida dentro das pesquisas que abrangem o manejo da irrigação, a TDR possibilita fazer a medição indireta da umidade do solo com grande precisão e apresenta como vantagens a não destruição da estrutura do solo e com isso pode-se repetir as leituras de umidade no mesmo local possibilitando automatizar as medições obtendo-se assim as leituras a qualquer intervalo de tempo no mesmo local, outra vantagem do sensor é a não emissão de radiação ionizante. A desvantagem ainda é o custo elevado do equipamento e a necessidade de fazer a calibração para cada tipo de solo. A TDR tem como princípio de funcionamento a determinação da umidade do solo com base no tempo de viagem de um sinal electromagnético pulsado ao longo de uma guia de onda, sendo a velocidade do sinal dependente da constante dielétrica ( $K_a$ ) do solo, a constante dielétrica da água alta quando comparada com a de outros materiais constituintes do solo então as mudanças no teor de água do solo são detectadas pela TDR (MUÑOZ-CARPENA et al.,

2001; SANTOS et al., 2012; SONCELA et al., 2013). A mediação da umidade do solo com a TDR é indireta, pois, o sensor mede a constante dielétrica do solo pela equação de Ledieu et al. (1986) a conversão da umidade real é por uma equação polinomial cubica de Topp et al. (1980). A curva de calibração é necessária para cada tipo de solo de devido as variações de estrutura e composição química a introdução de multiplexadores de leituras aumenta o comprimento do cabo e altera tempo de percurso do sinal necessitando de uma calibração especifica. O objetivo do presente trabalho foi comparar a curva de calibração realizada com as leituras feitas direto no reflectometro TDR com a curva obtida a partir de leituras realizadas com multiplexadores.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido no laboratório de irrigação da Embrapa mandioca e fruticultura/ Cruz das Almas/BA. O solo da área experimental é classificado como Latossolo amarelo distrófico de textura argilosa onde as três amostras de solo indeformadas foram coletadas. Foram utilizados anéis de PVC com 100 mm de diâmetro altura de 15 cm. Também foram utilizadas uma TDR100 conectada a um datalogger CR100 com visor para fazer as leituras manuais e outra TDR100 conectada a um datalogger CR100 e a multiplexadores de leituras do tipo SMDX formando o sistema automático de mediação, foi usada balança de precisão.

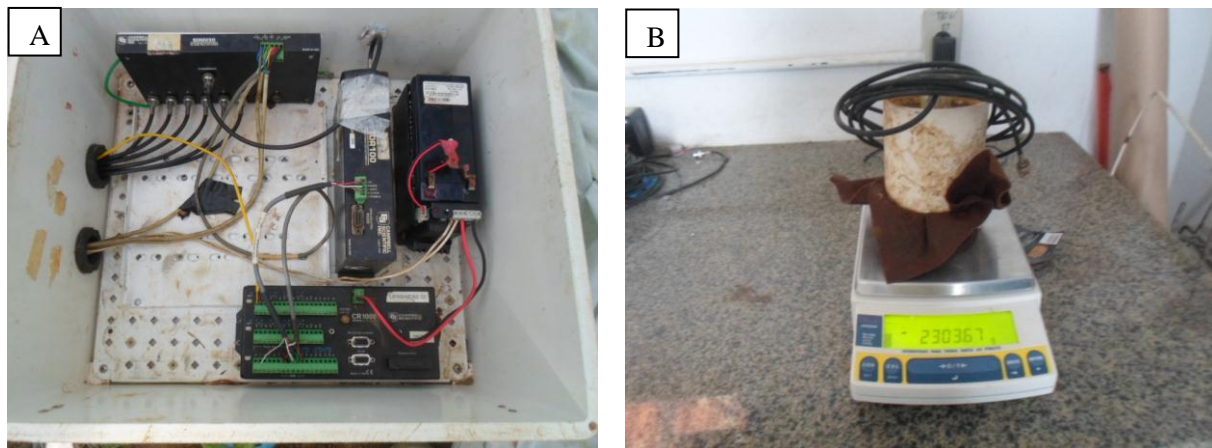


FIGURA 1. Sistema automático de leituras de umidade (A) e pesagem da amostra gravimetria (B).

As amostras foram coletadas e encaminhadas para o laboratório de irrigação onde foi removida um com de solo em uma extremidade e na outra colou-se o tecido não tecido e prendeu com fita adesiva na extremidade do anel que ficou submerso durante a saturação na qual foi imerso 2/3 de sua altura por um período de tempo de 72 horas, durante este período foram inseridas a sondas TDR com 10 cm de comprimento efetivo foram previamente pesadas. Após a saturação as amostras foram retiradas para drenar o excesso de água e iniciar as leituras imediatamente, onde foram realizadas as leituras manuais, automáticas e a pesagem as quais foram realizadas inicialmente a cada 30 min e conforme e as leituras foram estabilizando esse intervalo foi aumentando. Após a estabilização das leituras as amostras foram colocadas para secar em estufa a 65 °C durante 4 horas e em seguida eram colocadas para esfriar e em seguida efetuar as leituras e pesagens, esse procedimento se repetiu até que as leituras se estabilizassem. Após as amostras foram retiradas dos anéis e colocadas para secar em estufa a 105 °C até o peso constante. Foi calculado o volume de solo e a umidade volumétrica a partir da relação (massa úmida, massa seca e volume do solo). A constante dielétrica do solo foi obtida a partir da equação de Ledieu et al. (1986) e a umidade com o ajuste de um modelo polinomial cubico conforme Topp et al. (1980). As médias dos valores de umidade obtidos por gravimetria e estimados pelo modelo foram comparadas pelo teste t.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os dados de umidade do solo das três amostras medidos com TDR manual e TDR automática com multiplexadores (Tabela 1). Verificou-se pelo teste t que houve diferença significativa entre as leituras. Isso se deve provavelmente ao comprimento dos cabos com a introdução de multiplexadores, mesmo usando os comprimentos dos cabos recomendados pela literatura a diferença de comprimento pode ter enfraquecido sinal eletromagneto e afetou as leituras de umidade, conforme Coelho et al. (2005) que verificaram atenuação do sinal eletromagnético com o

comprimento do cabo. No entanto, para cabos de até 13,0 m de comprimento total (TDR – guia de ondas) não afetaram as leituras de umidade do solo. Com todo, Coelho et al. (2006) verificam para sondas com resistor diferença significativa que houve diferença significativa dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e dos desvio padrão (DV) obtidos com as sondas conectadas direto na TDR em relação aos obtidos com as sondas conectadas ao multiplexador, que apresentaram os maiores valores do  $R^2$  e menores DV.

TABELA 1. Médias de umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) do solo medidas por TDR manual e TDR automática com multiplexadores (TDR multplex).

Amostras	TDR manual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	TDR multplex ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
1	0,34 b	0,36 a
2	0,34 b	0,35 a
3	0,33 b	0,34 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade.

Observa-se na (Tabela 2) as equações de calibração das três amostras de solo para TDR manual e TDR automática com multiplexadores, verificou-se um bom ajuste uma vez que os coeficientes de correlação variaram de 0,9723 a 0,9916 isso significa que 97,23 a 99,16% das variações de umidade do solo são explicadas pelas equações, esses resultados corroboram com os encontrados por Souza et al. (2013) que verificam  $R^2 = 0,93$  para solo de textura média e um  $R^2 = 0,96$  com solo argiloso. Santos et al. (2012) trabalhando em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa observaram  $R^2 = 0,977$  na curva de calibração, isso mostra que é necessário fazer a curva de calibração para cada tipo de solo devido as características físicas e químicas de cada um.

TABELA 2. Equação de calibração para medição da umidade real do solo por TDR manual e TDR automática com multiplexadores.

Amostras	TDR manual	$R^2$
1	$y = 0,0001\text{Ka}^3 - 0,0062\text{Ka}^2 + 0,1290\text{Ka} - 0,7055$	0,9914
2	$y = 0,0002\text{Ka}^3 - 0,0126\text{Ka}^2 + 0,2388\text{Ka} - 1,3327$	0,9865
3	$y = 0,0002\text{Ka}^3 - 0,0111\text{Ka}^2 + 0,2026\text{Ka} - 1,0597$	0,9852
Amostras	TDR automática com multiplexadores	
1	$y = 0,0001\text{Ka}^3 - 0,0035\text{Ka}^2 + 0,0804\text{Ka} - 0,4327$	0,9916
2	$y = 0,0001\text{Ka}^3 - 0,0085\text{Ka}^2 + 0,1684\text{Ka} - 0,9492$	0,9838
3	$y = 0,0002\text{Ka}^3 - 0,0112\text{Ka}^2 + 0,2102\text{Ka} - 1,1309$	0,9723

**CONCLUSÕES:** As leituras de umidade do solo foram diferentes quando medidas com a TDR manual e TDR automática com multiplexadores. As curvas de calibração da umidade do solo devem ser feitas separadamente para leituras feitas diretamente na TDR e as realizada com multiplexadores.

**AGRADECIMENTOS** – A FAPESB pela concessão da bolsa e a Embrapa Mandioca e Fruticultura pelo espaço cedido para montar o experimento.

## REFERÊNCIAS

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.475-480, 2005.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.COELHO FILHO, M. A.; LEDO, C. A. S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 23-30, 2006.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method for measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. **J. Hydrol.** N.88, p.319-328, 1986.

MUÑOZ-CARPENA, R.; REGALADO, C. M.; ALVAREZ-BENEDÍ, J.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. **Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino em el suelo.** In: LÓPEZ, J. J. e QUEMADA, M. ed. V, Temas de Investigación en Zona no Saturada. p. 1-7. Pamplona: Universidade Pública de Navarra, 2001.

SANTOS, D. B.; CECÍLIO, R. A.; COELHO, E. F.; BATISTA, R. O.; SILVA, A. J. P. Calibração de TDR: desempenho de alguns métodos e equações de calibração, **Revista Agrarian**, Dourados, v.5, n.16, p.131-139, 2012.

SONCELA, R.; SAMPAIO, S. C.; BOAS, M. A. V.; TAVARES, M. H. F.; SMANHOTTO, A. Construction and calibration of tdr probes for volumetric water content estimation in a distroferic red latosol. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.919-928, set./out. 2013.

TOPP, G. C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxialtransmission lines. **Walter Resources Research**, Washington, 16: 576-583. 1980.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B.; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Revista Irriga**, v. 18, n. 4, p. 597-606, 2013.