

## **CALIBRAÇÃO DE GUIA DE ONDA ACOPLADA A TDR, EM UM TIPO DE SOLO, UTILIZANDO AMOSTRA DEFORMADA E INDEFORMADA**

**C. E. Cotrim<sup>1</sup>, E. F. Coelho<sup>2</sup>, M. A. Coelho Filho<sup>2</sup>, M. M. Ramos<sup>3</sup>,  
P. S. Nascimento<sup>4</sup>, R. P. Santos<sup>4</sup> e T. M. Andrade Neto<sup>4</sup>**

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo a calibração de guias de onda acoplada a TDR, para estimativa da umidade do solo, utilizando amostra de solo deformada e indeformada. As amostras deformadas do solo, de duas profundidades, após preparadas, foram acondicionadas em segmentos de tubos de PVC, enquanto amostras indeformadas foram retiradas diretamente em uma trincheira escavada no solo, também em duas profundidades, em segmentos de tubo de PVC com um dos lados em bisel. As guias de ondas utilizadas foram construídas no laboratório de Irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Um modelo polinomial cúbico foi ajustado aos dados de constante dielétrica do solo, fornecidos pela TDR, e da correspondente umidade medida por gravimetria. Da análise de variância da regressão entre os dados de umidade medida por gravimetria e umidade estimada pela TDR concluiu-se que, tanto para amostra indeformada como para amostra deformada, a regressão explicou significativamente a variável dependente (umidade estimada) a nível de 5 % de probabilidade. Entretanto os resultados encontrados mostraram que o modelo de calibração de guias de ondas utilizando amostra indeformada apresentou maior precisão na estimativa da umidade do solo utilizando a constante dielétrica aparente.

**PALAVRAS-CHAVE:** CALIBRAÇÃO, UMIDADE DO SOLO, REFLECTOMETRIA NO DOMINIO DO TEMPO.

## **CALIBRATION OF TDR CONNECTED WEGUIDES FOR ONE SOIL TYPE USING DISTURBED AND NON DISTURBED SAMPLE**

**SUMMARY:** This work had as objective to do the calibration of TDR waveguides for estimate soil water content by using disturbed and non disturbed soil sample. The disturbed soil samples, from two depths were prepared and packed in segments of PVC columns, while the non disturbed samples were removed directly in the walls of a trench in the soil. The

---

<sup>1</sup> Doutorando DEA/UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. Av. P. H. Rolfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (77) 3451 3693, e-mail: carloselizio@eafajg.gov.br

<sup>2</sup> Pesquisadores, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, BA.

<sup>3</sup> Professor DS, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG.

<sup>4</sup> Estudante de Mestrando do NEAS, UFRB, Cruz das Almas, BA

waveguides were built in the Irrigation and Fertirrigation laboratory of Embrapa Cassava & Fruits. A polynomial cubic model was fitted to the soil water content data obtained by gravimetry as a function of soil bulk dielectric constant data. The regression analysis showed significance at 5% probability level. However results showed that the waveguide calibration model by using non disturbed soil samples presented larger precision than the calibration by using disturbed samples.

**KEYWORDS:** calibration, soil water content, time domain reflectometry.

## INTRODUÇÃO

O acompanhamento da umidade do solo se constitui num dos parâmetros básicos no sistema solo-planta-atmosfera e é imprescindível para o manejo eficiente da irrigação das culturas. No semi-árido brasileiro, onde a água é um recurso natural escasso, torna-se ainda mais necessário a otimização da eficiência do seu uso visando a obtenção de uma produção economicamente viável com o mínimo consumo possível do insumo. Neste sentido é que a reflectometria no domínio do tempo (TDR) torna-se também necessária na determinação, precisa e não destrutiva, deste parâmetro, possibilitando a automação no fornecimento dos dados em tempo real e de maneira continuada. Segundo COELHO et al. (2005) a estimativa da umidade do solo é possível através da transmissão de um pulso eletromagnético pelo equipamento TDR, a partir do qual se determina a constante dielétrica aparente do solo. Para a determinação deste pulso a maioria dos equipamentos de TDR disponível no mercado requer a utilização de guias de ondas acoplada ao mesmo. Pelo fato do preço das guias de ondas importadas ter se tornado fator limitante para o uso deste equipamento, os usuários desta técnica têm empregado normalmente guias de onda de construção própria (artesanal) por terem custo mais baixo que as guias comercializadas (COELHO et al. 2001). Entretanto, na determinação da umidade do solo, estas guias de ondas necessitam ser calibradas para cada tipo de solo e esta calibração normalmente é feita em laboratórios utilizando amostras de solo deformadas (TFSE).

Em pesquisas conduzidas para se determinar o tipo de guia de onda (sonda de TDR) mais adequado e também as equações que mais se ajustam na calibração das mesmas para a estimativa da umidade do solo a partir da constante dielétrica aparente (COELHO et al., 2006; ROTH et al., 1990; COELHO et al., 2005) encontraram que o ajuste dos modelos de calibração aos dados variou com o tipo de solo e com o tipo e conexão da guia de onda.

Este trabalho teve como objetivo a calibração de guias de ondas para serem usadas na estimativa da umidade do solo a partir da constante dielétrica aparente, utilizando o equipamento TDR 100, empregando amostra deformada (TFSE) e indeformada do solo e fazer uma comparação entre os resultados.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras deformadas e indeformadas, retiradas a 25 e a 50 cm de profundidade, de um Neosolo Flúvico eutrófico com classificação textural franco-arenoso e características físicas conforme Tabela 1. As amostras deformadas foram destorroadas, seca em estufa e peneiradas, sendo em seguida acondicionadas em seis tubos de PVC (três para cada profundidade) de 0,17 m de comprimento por 0,075 m de diâmetro, até uma altura de 0,135 m dentro do tubo. Para evitar a perda de solo na parte inferior utilizou-se uma tela de nylon fina juntamente com papel filtro presa ao tubo com fita adesiva. Todo o conjunto foi pesado antes e depois do acondicionamento do solo, sendo os pesos anotados. O solo foi acondicionado nas colunas de maneira a se obter uma densidade média de 1,3 g/cm<sup>3</sup>. As amostras indeformadas foram retiradas utilizando-se seis segmentos de tubos de PVC como já descritos, identificados e previamente pesados, com uma das extremidades em bisel, que foram introduzidos no solo, nas profundidades especificadas, em uma trincheira de um metro de profundidade por 0,60 m de largura e 0,80 m de comprimento, previamente escavada na área. Após irrigação do local, para facilitar a introdução do tubo, o lado em bisel era introduzido no solo, com auxílio de um pedaço de tábua e uma marreta, formando um ângulo de noventa graus com a parede da trincheira. Concluída a retirada, as amostras indeformadas tiveram também uma das extremidades revestidas por tela de nylon e papel filtro para evitar a perda de solo. Na seqüência todas as amostras foram colocadas em saturação por 24 horas.

Tabela 1. Características físicas do solo utilizado na calibração da sonda de TDR.

Amostra	Dens. Aparente	Dens. das Partículas	Características Texturais		
			Areia Total	Silte	Argila
	(g.cm <sup>-3</sup> )	(g.cm <sup>-3</sup> )	(g.kg <sup>-1</sup> )		
0.25 cm prof.	1.61	2.74	507.00	296.00	197.00
0.50 cm prof.	1.56	2.81	485.00	300.00	215.00

As guias de ondas (sondas de TDR) utilizadas foram construídas no laboratório de Irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, com três hastes de

0,003 m de diâmetro por 0,10 m de comprimento, espaçadas de 0,022 m, isoladas com resina epóxi, com cabos coaxiais de 1,5 m de comprimento. Foram também identificadas, pesadas e inseridas nas colunas com solo saturado, que por sua vez, foram pesadas e colocadas a secar em condições naturais. As leituras das umidades (constantes dielétricas), desde a saturação até umidades próximas ao ponto de murcha, foram feitas diariamente utilizando-se um computador por meio do aplicativo “PCTDR”. Após cada leitura, era também pesado e anotado o peso de todos os segmentos de tubo, contendo solo e guia de onda, tanto para amostra deformada como indeformada. As umidades volumétricas ( $\theta_i$ ) determinadas paralelamente a cada leitura da TDR, foram obtidas gravimetricamente pela equação a seguir:

$$\theta_i = \frac{PU_i - PS}{PS - PE} \cdot \frac{d_s}{d_a} \quad (1)$$

em que,

$PU_i$  – peso do solo úmido atual + PE, g;

PE – Peso da coluna de PVC + Peso da guia de onda + envoltório (tela e papel), g;

PS – Peso do solo seco + PE, g;

$d_s$  – densidade do solo,  $\text{g.cm}^{-3}$ ;

$d_a$  – densidade da água,  $\text{g.cm}^{-3}$ .

O modelo ajustado aos dados de umidade gravimétrica medida e constante dielétrica aparente foi o polinomial cúbico, por apresentar melhor desempenho conforme COELHO et al. (2006).

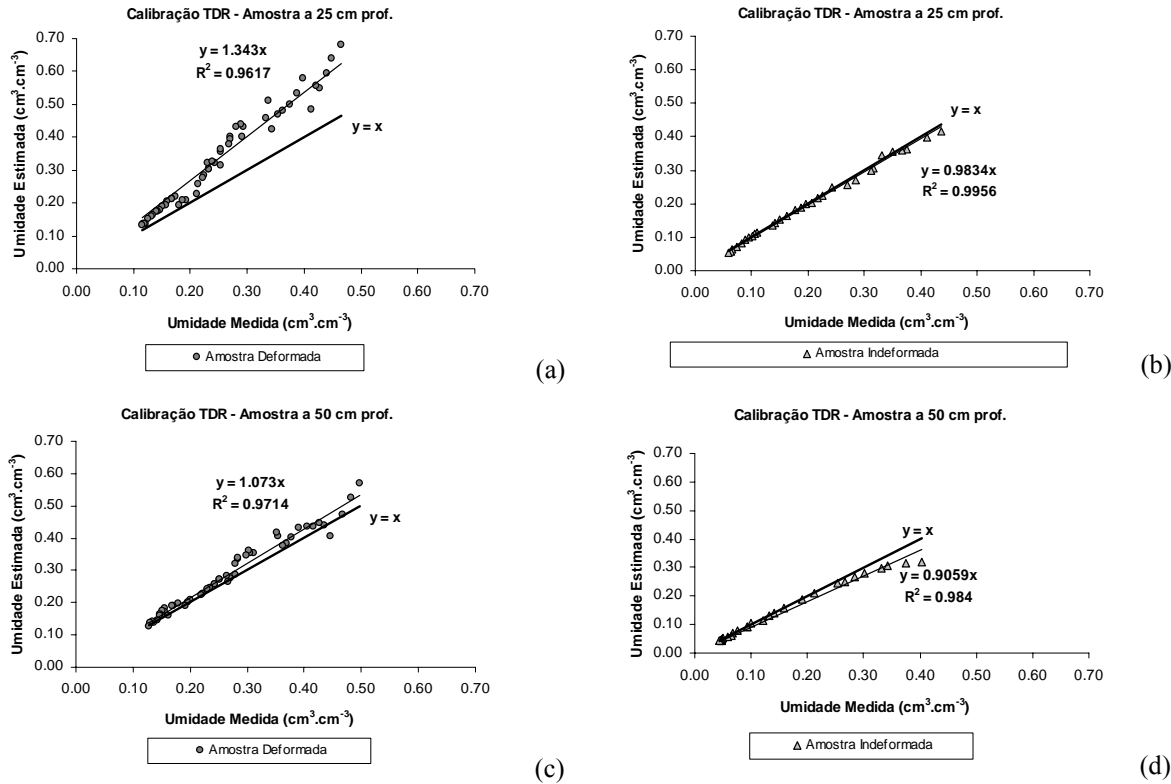
Os resultados de umidade medida por gravimetria e estimada pelos modelos de calibração da sonda de TDR, foram comparados através de uma regressão linear simples, para amostra deformada e indeformada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise de variância da regressão entre os dados de umidade medida por gravimetria e umidade estimada pela TDR (modelo de calibração) concluiu-se que, tanto para amostra indeformada como para amostra deformada, a regressão explicou significativamente a variável dependente (umidade estimada) em nível de 5 % de probabilidade. Apesar desta condição, que avaliza a calibração para os dois tipos de amostragem de solo, pode-se observar da Figura 2, que a calibração com amostra indeformada a 0,25 m de profundidade apresentou

maior precisão na estimativa da umidade, com um coeficiente de linearidade da regressão, umidade estimada em função da umidade medida, mais próximo da unidade (0,9834).

Figura 2. Comportamento da umidade média estimada para amostra deformada e indeformada, retiradas a 0,25 m de profundidade (a, b) e 0,50 m de profundidade (c, d) em relação à umidade medida por gravimetria.



Para amostra indeformada, tanto na profundidade de 0,25 m como na de 0,50 m, o coeficiente de determinação da regressão ( $R^2$ ) foi superior em comparação com os resultados encontrados para amostras deformadas retiradas nas mesmas profundidades, significando que um maior percentual da variação da umidade estimada é explicado pela regressão linear no caso da calibração com amostra indeformada. Ainda da Figura 2 (a, c) pode-se observar que o

Tabela 2. Valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de umidade medida e estimada, para amostras deformada e indeformada retiradas na profundidade de 25 cm.

Tipo de Amostra	Amostra Deformada		Amostra Indeformada	
	Umid. Medida	Umid. Estimada	Umid. Medida	Umid. Estimada
Média (m)	0,252	0,334	0,204	0,202
Desvio Padrão - (s)	0,102	0,151	0,114	0,110
Coef. de Variação - (CV)	40,46 %	45,36 %	55,59 %	54,47 %

modelo de calibração com amostra deformada apresentou uma tendência de superestimar os valores de umidade do solo, nas duas profundidades estudadas. Tal comportamento pode ser

justificado pelo menor valor da densidade aparente que se conseguiu no acondicionamento do solo da amostra deformada na coluna de PVC ( $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$  em média), em relação à densidade aparente natural do solo da amostra indeformada (entre 1,5 e  $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

Da Tabela 2 constatamos que ocorreu uma maior amplitude entre os coeficientes de variação (CV) das umidades estimadas pelo modelo de calibração e medida por gravimetria, para amostra deformada em comparação com os mesmos parâmetros estimados e medidos para amostra indeformada.

## CONCLUSÕES

Os modelos de calibração de guias de ondas, tanto utilizando amostra deformada como indeformada, apresentaram estimativas satisfatórias dos valores de umidade do solo através da constante dielétrica aparente fornecida pelo equipamento de TDR.

Os resultados encontrados mostraram que o modelo de calibração de guias de ondas utilizando amostra indeformada apresentou maior precisão na estimativa da umidade do solo utilizando a constante dielétrica aparente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- COELHO, E. F.; ANDRADE, C. L. T.; OR, D.; LOPES, L. C.; SOUZA, C. F. **Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com analisador de umidade Trase**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 81-87, 2001.
- COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A. **Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 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 solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Brasília, v. 30, p. 23-30, 2006.
- ROTH, C.H.; CHULIN, R.; FLUHLER, H.; ATTINGER, W. **Calibration of time-domain reflectometry for water content measurement using composite dielectric approach**. Water Res. Res., v. 26, p. 2267-2273, 1990.