

119

Circular
TécnicaCruz das Almas, BA
Outubro, 2016

Autores

**Eugênio Ferreira
Coelho**Embrapa Mandioca e
Fruticultura, Cruz das
Almas, BA**Alisson Jadavi
Pereira da Silva**Instituto Federal de
Educação Ciência e
Tecnologia Baiano,
Senhor do Bonfim, BA**Lucas de Melo
Vellame**Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia,
Cruz das Almas, BA

Sondas de TDR artesanais de três hastes para estimativa da umidade do solo

Introdução

Os equipamentos de TDR (reflectometria no domínio do tempo) requerem guias de onda ou sondas que são inseridas no solo para conduzirem o sinal eletromagnético que permite estimar a umidade do solo a partir da constante dielétrica do mesmo. Os problemas na aquisição dessas sondas dos fabricantes passam pelas mesmas dificuldades da compra dos reflectômetros: os custos são elevados e limitam a quantidade de dados observados. Uma alternativa é a construção de sondas artesanais que possam fazer o mesmo papel das sondas industriais, a custo bem mais acessível.

Este documento apresenta os resultados de alguns anos de trabalho com sondas de TDR artesanais, construídas no laboratório de Irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em parceria com outras instituições de ensino e pesquisa. O trabalho é uma coletânea de informações sobre sondas de TDR de três hastes, suas características, e a avaliação do uso direto no reflectômetro ou por meio de multiplexadores interconectados. Não inclui, entretanto, sondas acopladas ao reflectômetro, isto é, aquelas em que o sensor e o reflectômetro constituem um só equipamento.

Construção de sondas de três hastes

A construção de uma sonda de três hastes de 0,10 m para uso com um reflectômetro requer os seguintes materiais: cabo coaxial RG58 (50 ohms); conector BNC de clipagem; três hastes de aço inoxidável de 3 mm de diâmetro e de 0,12 m de comprimento; 30 g de resina de poliéster ou resina epoxi; 4 g de catalisador de resina; solda elétrica; liga de estanho Sn 63/37; ácido fosfórico a 1%; alicate decapador; e alicate de clipagem. No caso da Trase System, para leituras diretas, é necessário um capacitor de 3,9 pF (COELHO et al., 2005). Inicialmente, deve-se dividir igualmente a malha externa do cabo coaxial de modo a se ter duas extensões de 0,017 m a partir do cabo (Figura 1A); depois, molhar a extremidade da haste no ácido fosfórico a 1% e soldá-la a um dos prolongamentos da malha externa do cabo (Figura 1B); repetir essa ação para a outra haste e para a outra extensão do cabo. A terceira haste deve ser soldada ao fio central do cabo positivo, mostrado na Figura 1A. Na outra extremidade, deve-se desencapar a malha externa e expor 0,5 cm do fio interno. Usar o conector BNC e fazer a clipagem do mesmo ao cabo (Figura 1C). Em seguida, fazer a montagem do cabo e das hastes numa calha de forma a se obter o espaçamento desejado, entre 1,7 e 2,2 cm (Figura 1D). Uma sonda de 1 m de cabo coaxial RG 58, considerando os custos dos materiais envolvidos, aproxima-se de US\$ 4,20, podendo o preço variar conforme a região devido aos custos dos materiais e da mão de obra.

Fotos: Isaac Matos Ponciano



Figura 1. Construção de sondas de TDR com uso de resina de poliéster: (A) preparação do cabo coaxial; (B) soldagem das hastes no cabo coaxial; (C) junção do cabo coaxial ao conector BNC (fotos: Luanna Ferreira Brás dos Santos); (D) estrutura para montagem das sondas.

Características das sondas

Malha do cabo coaxial

As sondas são conectadas à TDR por cabos coaxiais de 50 ohms, por onde o pulso eletromagnético transita, antes de chegar às hastes. O cabo coaxial comercial, comumente encontrado no Brasil para essa finalidade, é o RG-58, de três tipos de cobertura da malha: 65, 85 e 95% (Figura 2).

Foto: Isaac Matos Ponciano

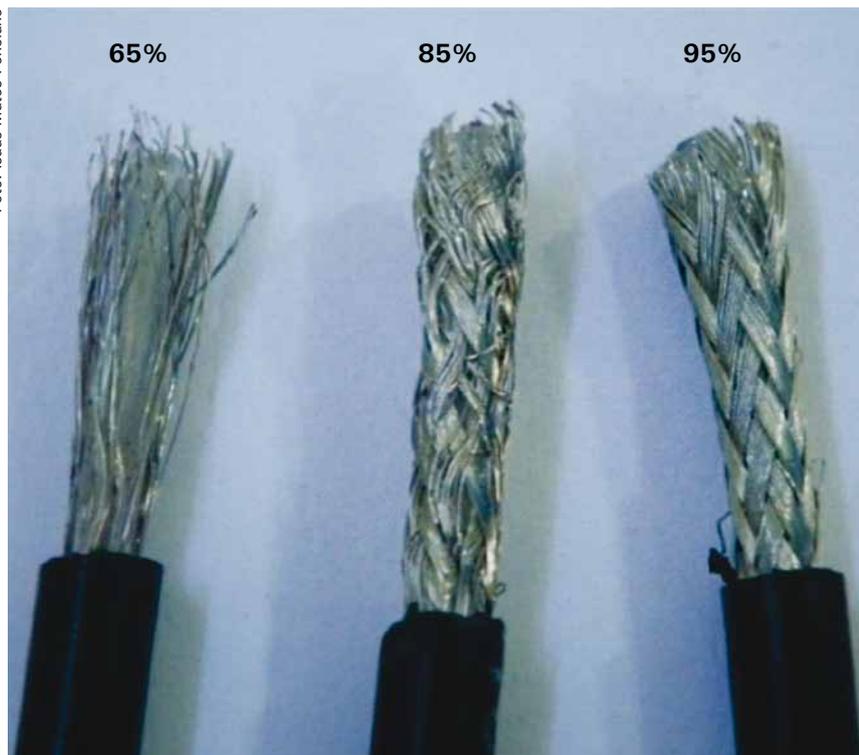


Figura 2. Diferentes modelos de malha de cobertura para cabo coaxial modelo RG-58.

O espaçamento entre hastes e o diâmetro das mesmas afetam significativamente a impedância das sondas. O diâmetro das hastes pode ser usado entre 3 e 5 mm para guias de onda de TDR tipo multi-hastes, e de 2 a 10 mm para guias de onda de duas hastes (NOBORIO, 2001). O espaçamento entre hastes tem sido variado nas guias de onda em uso. Noborio (2001) cita uma variação de 0,03 a 0,04 m entre hastes, no caso de guias

multi-hastes, e de 0,025 m a 0,05 m, no caso de guias de duas hastes. O importante é manter a relação diâmetro/espacamento entre haste superior a 0,1 (m/m). A Tabela 1 (SILVA et al., 2005) apresenta dimensões de sondas de TDR com hastes de 0,10 m de comprimento efetivo e suas respectivas características de constante para salinidade no equipamento da TDR 100 e impedância das sondas.

Tabela 1. Valores das constantes para leitura da condutividade elétrica na TDR 100 e das impedâncias das sondas de TDR com diferentes distâncias entre hastes e comprimentos da resina no início das hastes.

Comprim. da resina (cm)	3,50	5,00	6,50	8,00	5,00	6,50	8,00	5,00	6,50	8,00
Distân. entre hastes (cm)	1,70	1,70	1,70	1,70	2,20	2,20	2,20	2,70	2,70	2,70
Constante (K)	9,89	5,50	5,27	5,39	9,96	6,60	5,88	6,39	6,10	6,31
Impedância (ohm)	373,00	207,4	198,80	203,30	375,70	228,50	221,60	241,10	226,50	237,80

Comprimento das hastes

As sondas de diferentes comprimentos de hastes (Figura 3) se comportam de forma distinta durante uma avaliação de umidade do solo; isto é, a mesma umidade corresponde a diferentes valores da constante dielétrica aparente, conforme o comprimento das hastes. Os tamanhos de haste de 0,30 m, 0,15 m e 0,10 m são de maior precisão na estimativa da umidade, entretanto, a de 0,10 m é de mais fácil instalação, principalmente a profundidades abaixo de 0,20 m.

Foto: Ildos Parizotto

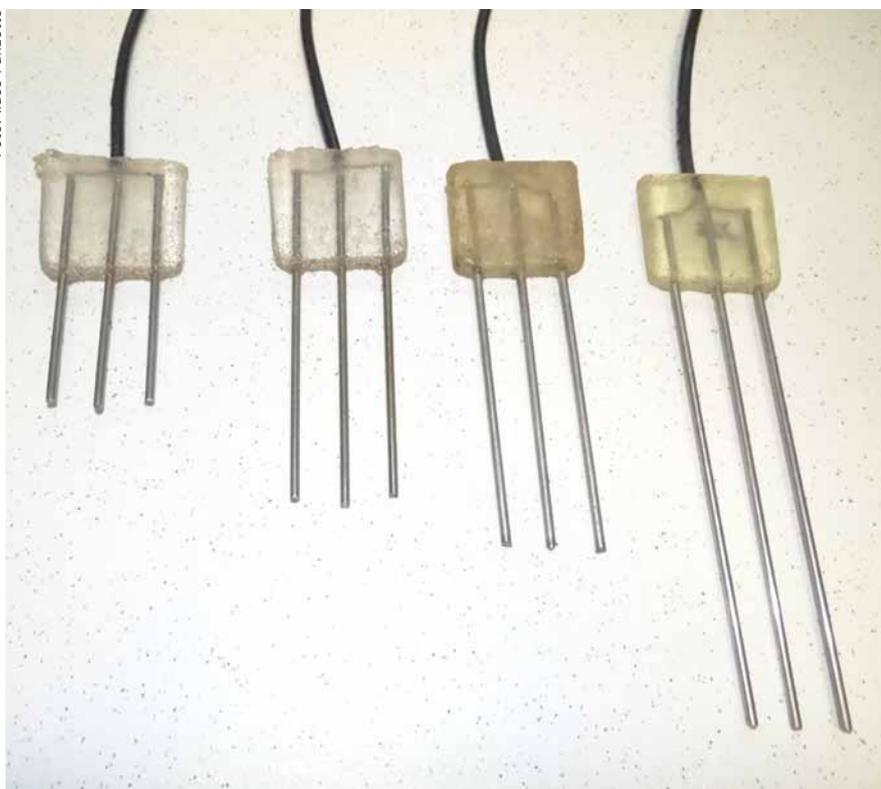


Figura 3. Exemplos de sondas de TDR de diferentes comprimentos de hastes.

Sondas com uso de multiplexadores

Os multiplexadores de leitura de umidade usados com reflectômetros tipo TDR (Figura 4) vêm sendo amplamente utilizados como forma de se multiplicarem os pontos de monitoramento de umidade e condutividade elétrica do solo. Sua função é de direcionar a análise da emissão e da reflexão dos pulsos eletromagnéticos pela TDR, de sonda em sonda, até que se finalizem as leituras previamente programadas no armazenador de dados (*data logger*). Os multiplexadores usados no caso dos reflectômetros podem ser de acionamento eletrônico, no caso da Trase System, ou eletromecânico, como os usados com as sondas TDR 100, MP-917 ou Tektronix.

A comunicação da TDR100 com os multiplexadores se faz por meio de um sinal digital que comuta os relés dos multiplexadores. Durante a instalação de um sistema de medição com uso da TDR100 e multiplexadores, para que o sistema funcione corretamente, maior atenção deve ser dada ao endereçamento dos multiplexadores através de endereçadores (*jampers*) e da TDR, com a chave comutadora instalada na parte frontal.



Figura 4. Conexão de sondas de TDR a multiplexadores em campo.

No caso da TDR Trase não se faz necessário o endereçamento, já que o equipamento reconhece os multiplexadores, de acordo com sua ligação por meio do cabo coaxial. Nesse caso, deve-se ater às terminações de RF de 50 ohms em todos os canais em que não estão instaladas guias de onda. Sem essas terminações, as leituras das sondas ficarão erradas.

Comprimento dos cabos de conexão dos multiplexadores

Apesar da grande aceitação da técnica TDR para a pesquisa na área das ciências agrárias, sua precisão continua sendo objeto de estudo, particularmente quando são empregados multiplexadores interligados por longos cabos coaxiais. Esse arranjo causa perdas de sinal adicionais, que devem ser levadas em consideração. De acordo com Hook et al. (1992), a principal perda se dá no primeiro pico do sinal eletromagnético, ponto a partir do qual se inicia a análise da umidade, ou seja, no início da sonda. Percebe-se, pelas formas do sinal eletromagnético apresentadas na Figura 5, que há uma atenuação significativa no sinal quando o comprimento do cabo entre multiplexadores aumenta de 0,7 (Fig. 5a) para 14 (Fig. 5b) metros, para sondas TDR de três hastes imersas em água destilada a 25°C. Essa deformação na forma do sinal influencia na determinação da constante dielétrica.

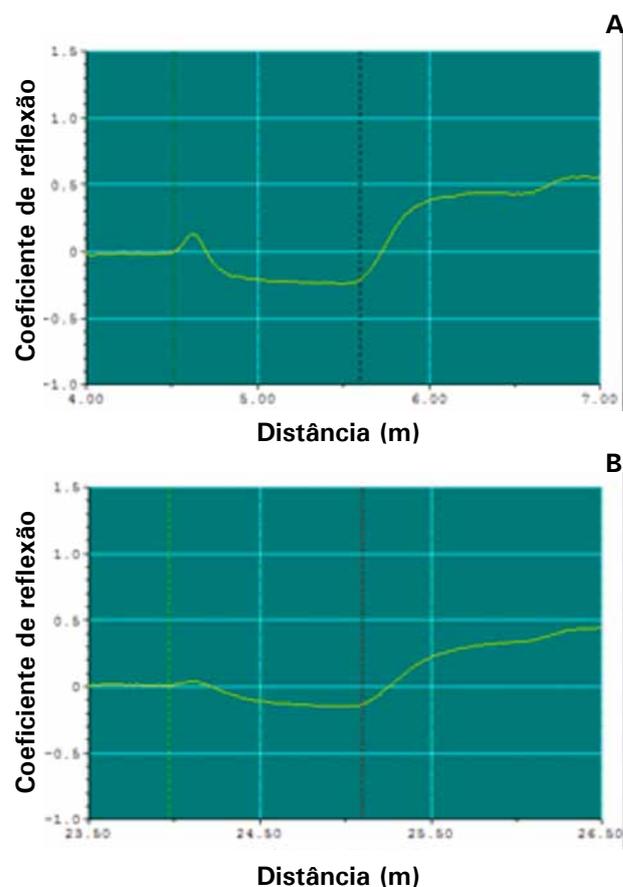


Figura 5. Influência do comprimento de cabo entre multiplexadores na atenuação do sinal emitido pela TDR para 0,7 (A) e 14 (B) metros de comprimento entre multiplexadores (PONCIANO et al., 2011b).

Um experimento com objetivo de estudar o efeito de comprimentos dos cabos RG-58, com 65% de malha de transmissão dos sinais eletromagnéticos entre os multiplexadores dos níveis 1 e 2, foi realizado para determinação da umidade do solo com sondas artesanais de TDR construídas com hastes de 0,003 m de diâmetro e 0,10 m de comprimento, espaçadas de 0,017 m, isoladas com resina epóxi. O cabo com 12 m apresentou as maiores variações dos valores de umidade ao longo do tempo, seguido do cabo de 10 m, já o cabo de 4 m produziu as menores variações de umidade. O coeficiente de variação da umidade do solo em relação ao comprimento do cabo foi inferior a 2% para o cabo de até 10 m de comprimento (Tabela 2). As umidades para esses comprimentos de cabo foram superestimadas quando comparadas aos cabos de menor comprimento (PAMPONET et al., 2011).

Tabela 2. Umidade média e coeficiente de variação (%) referente ao comprimento do cabo coaxial de hastes artesanais de 0,10 m (PAMPONET et al., 2011).

Comprimento do cabo (m)	CV (%)	Umidade do solo (cm ³ cm ⁻³)
2	1,38	0,3745
4	1,27	0,3632
6	1,46	0,3771
8	1,46	0,3845
10	1,17	0,4007
12	3,44	0,4228

O tipo de cabo também deve ser levado em conta na decisão do comprimento do mesmo quando se usa multiplicação das leituras por multiplexadores. A malha de 95% comparada às de 65 e 85% apresenta maior estabilidade nas leituras sem variação significativa das estimativas da umidade para comprimento de cabos entre os níveis de multiplexação de até 6 m do reflectômetro TDR. As estimativas de umidade para comprimentos do cabo de 10 a 14 m entre o reflectômetro e a sonda também não variam significativamente apesar de diferirem das estimativas de umidade obtidas para comprimento de até 6 m (Tabela 3), sendo

mais segura a limitação do comprimento do cabo para até 6 m. Dessa forma, deve-se estabelecer o comprimento total do cabo coaxial RG 58, 50 ohm, desde o reflectômetro até a sonda no solo em 6 m, para garantir uma leitura mais precisa.

Tabela 3. Constante dielétrica da água (Ka) a 25°C face ao desdobramento do comprimento do cabo entre o reflectômetro e o multiplexador, para cada tipo de revestimento ou malha do cabo (Ponciano et al., 2011a).

Comprimento do cabo (m)	Malha		
	65%	85%	95%
14	86,84 d	85,55 d	85,67 b
10	85,25 c	84,09 c	84,94 b
6	83,66 b	82,90 b	82,33 a
0,7	81,89 a	81,75 a	82,26 a

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

As sondas artesanais podem ser usadas com segurança. Os espaçamentos entre hastes, os comprimentos de hastes, os detalhes de construção sugeridos para reflectômetros do tipo TDR100, Tektroniks, Trase System, para a sonda conectada por meio de multiplexadores de leituras a TDR ou diretamente a essa, demonstrados nessa circular técnica, permitem a construção e o uso dessas sondas para aqueles que adquirirem esse equipamento de grande utilidade para medição da umidade do solo e da condutividade elétrica.

Referências

- 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**, v.9, n.4, p.475, 2005.
- HOOK, W. R.; LIVINGSTON, N. J.; SUN, Z. J.; HOOK, P. B. Remote diode shorting improves measurement of soil water by time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**. v.56, p.1384 - 1391. 1992.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, p.213-237, May, 2001.

PAMPONET, A. J. M.; COELHO, E. F.; Santana Junior, E. B.; CARVALHO, G. C. Comprimentos de cabos entre TDR e multiplexadores e efeitos na determinação da umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais.** Uberlândia: SBCS; UFU; ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

PONCIANO, I. M.; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. Avaliação da Influência da Malha e Comprimento de Cabo Coaxial na Determinação do K_p de Sonda TDR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais.** Uberlândia: SBCS; UFU; ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

PONCIANO, I. M.; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. Parâmetros para Escolha de Comprimento e Cobertura de Cabo Coaxial na Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais.** Uberlândia: SBCS; UFU; ICIAG, 2011. 1 CD-ROM..

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. Avaliação de sondas de TDR para medida da condutividade elétrica aparente e da umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Programa e resumos.** Canoas: ULBRA, 2005. 1 CD-ROM.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, E. F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 12-25, 2006.

Circular Técnica, 119

Embrapa Mandioca e Fruticultura
Endereço: Rua Embrapa, s/n, Caixa Postal 07,
44380-000, Cruz das Almas - Bahia
Fone: (75) 3312-8000
Fax: (75) 3312-8097
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
On-line (2016)



Comitê de publicações

Presidente: *Francisco Ferraz Laranjeira Barbosa*
Secretária: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*
Membros: *Áurea Fabiana Apolinário Albuquerque, Cícero Cartaxo de Lucena, Clóvis Oliveira de Almeida, Eliseth de Souza Viana, Fabiana Fumi Cerqueira Sasaki, Jacqueline Camolese de Araújo, Leandro de Souza Rocha, Tullio Raphael Pereira de Pádua*

Expediente

Supervisão editorial: *Francisco Ferraz Laranjeira Barbosa*
Revisão de texto: *Adriana Villar Tullio Marinho*
Normalização bibliográfica: *Lucidalva Ribeiro G. Pinheiro*
Editoração eletrônica: *Anapaula Rosário Lopes*