

**NOTA TÉCNICA:****CONSTRUÇÃO DE SONDAS TDR E AVALIAÇÃO EM DIFERENTES SOFTWARES DE APLICAÇÃO TÉCNICA**Glaucia Cristina Pavão<sup>1</sup>, Júlia Rodrigues Simione<sup>2</sup>, & Claudinei Fonseca Souza<sup>3</sup>1 - Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Agricultura Tropical IAC/Campinas-SP, [glauciapavao@gmail.com](mailto:glauciapavao@gmail.com)2 - Graduanda em Engenharia Agrônoma UFSCar/Araras-SP, [julia\\_simione@hotmail.com](mailto:julia_simione@hotmail.com)3 - Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Associado da UFSCar/Araras-SP, [cfsouza@cca.ufscar.br](mailto:cfsouza@cca.ufscar.br)**Palavras-chave:**dimensionamento  
programas de análise TDR  
Reflectometria no Domínio do Tempo**RESUMO**

A aplicação eficiente de água na agricultura envolve equipamentos modernos e manejo adequado deste recurso natural. A quantidade de água absorvida pela cultura pode ser determinada pelo fluxo de seiva xilemática e a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem potencial para efetuar essas medições por ser precisa e praticamente livre de interferências. O objetivo deste trabalho foi construir e avaliar sondas TDR de diferentes tamanhos que pudessem ser lidas por três diferentes softwares com a finalidade de mensuração do fluxo de seiva em plantas lenhosas. Foram avaliados seis tamanhos de sondas (200, 150, 100, 70, 50 e 20 mm) sendo construídas e avaliadas características físicas em água deionizada por três programas de aplicação da técnica, PCTDR da Campbell Scientific, WinTDR da Utah State University e o TDR-Lab da CSIC. Os softwares demonstraram dificuldades na leitura automática, sendo WinTDR e PCTDR mais limitados quanto à leitura manual. O PCTDR não conseguiu realizar leituras em sondas de 1,6 mm de diâmetro de haste. Já o software TDRLab se mostrou promissor na análise de sondas de tamanhos menores, porém ainda são necessários estudos da constituição física das sondas para maior precisão nas leituras.

**Keywords:**dimension  
TDR analysis programs  
Time Domain Reflectometry**CONSTRUCTION OF TDR PROBES AND EVALUATION IN DIFFERENT SOFTWARE OF TECHNICAL APPLICATION****ABSTRACT**

Efficient water application in agriculture involves the use of modern equipment and appropriate management of this natural resource. The amount of water absorbed by the crop can be determined through xylem sap flow, and the Time Domain Reflectometry (TDR) technique can provide accurate measurements practically free from interference. The objective of this work was to build and evaluate different sized TDR probes using different application programs in order to measure sap flow in woody plants. Probes of six different sizes (200, 150, 100, 70, 50 and 20 mm) were constructed and evaluated in deionized water by three application programs, PCTDR developed by Campbell Scientific, WinTDR developed by Utah State University and TDR-Lab developed by CSIC. All three of these application programs demonstrated difficulties in automatic reading; WinTDR and PCTDR were limited as well in regards to the manual reading and PCTDR failed to perform readings in probes with 1.6 mm rod diameter. TDR-Lab software showed promising efficacy to analyze smaller sized probes, but further studies are needed in relation to the physical constitution of the probes for greater precision during the readings.

## INTRODUÇÃO

As plantas de interesse agrônômico têm sua produtividade reduzida com a escassez de água. Esse fator é limitante na expansão das áreas agricultáveis no planeta (ALBERT *et al.*, 2016). Dessa forma, técnicas de irrigação podem melhorar a eficiência e garantir uma maior precisão no uso da água nos cultivos agrícolas (PAVÃO *et al.*, 2014).

A aplicação eficiente de água envolve, além de equipamentos modernos, um manejo adequado dos sistemas de irrigação. Isso significa uma aplicação precisa de um determinado volume com uma frequência adequada para que não haja escassez nem excesso de água aplicada para as plantas, garantindo o seu pleno desenvolvimento (DELGADO-ROJAS *et al.*, 2007). Para que isso ocorra, é indispensável dispor de informações sobre condições hídricas do solo e da evapotranspiração da cultura.

A água que é absorvida pelas raízes se movimenta pelas plantas através do xilema e é perdida pela transpiração nas folhas (RAVEN *et al.*, 2014). Dessa forma, a quantidade de água absorvida pode ser determinada pela medição do fluxo da seiva xilemática. Essa determinação auxilia a análise das reações das plantas submetidas a diferentes condições hídricas do solo eclimáticas (DELGADO-ROJAS *et al.*, 2007). Esse critério de monitoramento pode contribuir no manejo da irrigação de forma direta, via planta, diferentemente dos métodos indiretos tradicionalmente utilizados, como o balanço climatológico e de água disponível no solo.

Há inúmeros métodos para estimar esse consumo de água, sendo a perda por transpiração um dos métodos diretos, denominado térmico (termopares) (REIS *et al.*, 2009). Esses métodos podem ser aplicados diretamente em campo sem alterar as condições microclimáticas e fisiológicas das plantas durante a mensuração (DELGADO-ROJAS *et al.*, 2007). Há três métodos mais usuais para medição do fluxo de seiva: dissipação de calor, balanço de calor e o de pulso de calor (REIS *et al.*, 2009). Esses métodos são baseados no movimento da água através do tronco e em suas propriedades de dissipação de térmica para estimar o fluxo de seiva (GIRARDI *et al.*, 2010).

De acordo com Nadler *et al.* (2003), a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem grande potencial para a medição precisa das mudanças no conteúdo de água no caule, sendo

praticamente livre de interferências, possibilitando até o acompanhamento das mudanças diurnas do fluxo de água em uma única planta.

A TDR é uma técnica que serve para medir o teor de água em meios porosos, muito utilizada na determinação de água no solo. É fundamentada fisicamente na velocidade de propagação de pulsos de micro-ondas em cabos condutores envoltos pelo meio com constante dielétrica diferente da constante da água. Esse fenômeno se deve à diferença entre as constantes dielétricas (K), da água, do ar e do solo. Na matriz do solo essas constantes variam entre 1 e 81. O ar possui o valor mínimo igual a 1, as partículas sólidas variam entre 3 e 5, e a água, o valor máximo é de 81. A constante K medida no sistema ar-solo-água é denominada de constante dielétrica aparente (Ka) (SOUZA *et al.*, 2016 a).

Essa técnica é vantajosa, pois não é destrutiva e não utiliza radiação ionizante, além de rápida obtenção de resultados (PAVÃO *et al.*, 2014). São necessários um testador de cabos e um sensor com hastes metálicas de aço inoxidável, ligados por um cabo coaxial (SOUZA *et al.*, 2016a). Há também uma necessidade de calibração do equipamento por meio de uma curva de calibração para cada meio inserido (SONCELA *et al.*, 2013).

Utilizando sondas de TDR de até 70 mm, Nadler *et al.* (2003) obtiveram resultados expressivos ao avaliar o teor de água em tronco de limoeiros que demonstraram relação entre a quantidade de água retirada do solo e a presente no caule. Os mesmos autores concluíram, ao avaliar mangueiras com sondas de 200mm de comprimento (NADLER *et al.*, 2006), que sondas menores podem trazer melhores resultados e danificar menos os tecidos das árvores. Da mesma forma, trabalhando com espécies nativas, Hernández-Santana *et al.* (2008) apontam que a TDR pode ser utilizada como um método de identificação do estresse hídrico em espécies arbóreas.

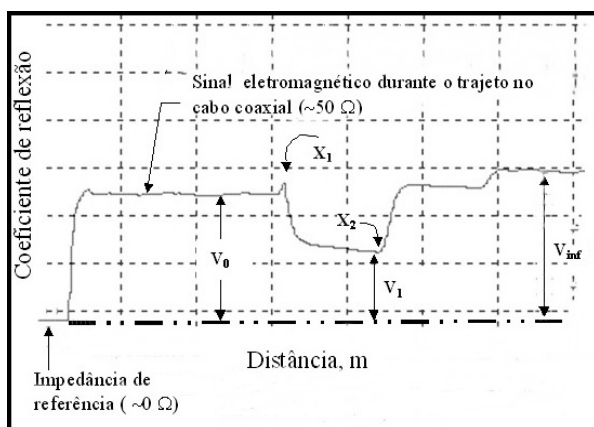
Esse trabalho teve por objetivo construir e avaliar sondas TDR de diferentes tamanhos que pudessem ser lidas em três diferentes softwares com a finalidade de mensuração do fluxo de seiva em plantas lenhosas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Hidráulica Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, em Araras,

São Paulo (SP) (22°18'00" S, 47°23'03" W e 611 m).

O desenvolvimento das sondas levou em conta os critérios observados na literatura: 1) A amplitude das reflexões  $X_1$  e  $X_2$  de pelo menos 90 % da máxima amplitude disponível (Figura 1); 2) Mínimo de sinal eletromagnético captado; 3) Impedância característica inferior a 200  $\Omega$ ; 4) Uniformidade na distribuição de energia conduzida pela sonda no meio amostrado; 5) Mínimo custo (ELAIUY et al., 2009). Essas exigências estão ligadas à geometria das hastes que conduzem o sinal eletromagnético. Neste caso, foram utilizadas duas conformações de hastes.

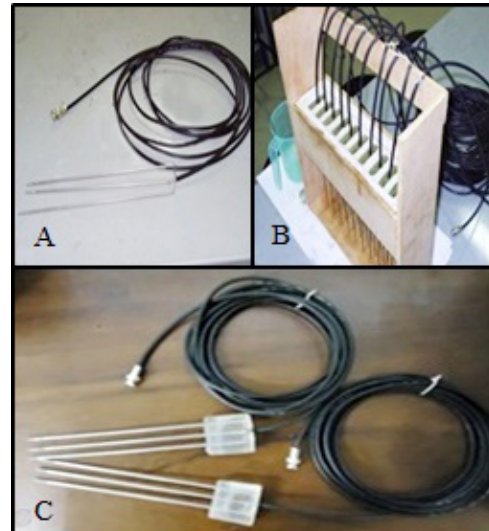


**Figura 1.** Esquema da onda eletromagnética, onde  $X_1$  é o início da sonda e  $X_2$  é a distância no final e o ponto de reflexão tangencial (SOUZA et al., 2016 b)

A primeira conformação foi sondas com três hastes com 3,0 mm de diâmetro e de aço inoxidável (AISI 304;  $\varnothing = 3,0$  mm; L = variável). Uma segunda conformação de sondas foi utilizada buscando o uso em plantas lenhosas, resultando na conformação de hastes de aço inoxidável de 1,6 mm de diâmetro. Ambas foram cortadas com 220 mm de comprimento para a serem soldadas ao cabo coaxial (RG – 58, 50  $\Omega$ ; L = 5 m) e na outra extremidade foi inserido o conector BNC.

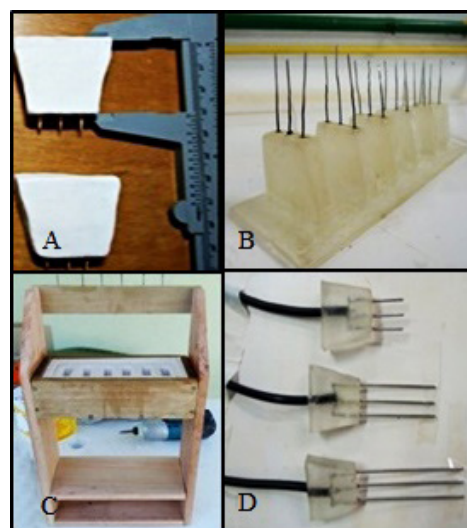
As hastes paralelas entre si foram soldadas utilizando uma estação de solda elétrica e uma liga de estanho, sendo as hastes externas unidas a malha externa do cabo e a haste interna à malha interna do cabo coaxial. Para permitir a fixação da solda nas hastes e a união com o cabo foi necessária a limpeza da superfície das hastes com solução de ácido fosfórico a 2 %.

A armação da sonda de TDR formada por hastes e cabo coaxial foi colocada em um gabarito moldado em silicone e sustentado por suporte de madeira (Figura 2).



**Figura 2.** Armação da sonda (A), Gabarito e suporte (B), Sonda de TDR de 3 mm de diâmetro (C) (Fotos: Arquivo pessoal)

Para as sondas com hastes de 1,6 mm, cujas dimensões fogem das mais utilizadas, foi necessária construção de forma artesanal do suporte de madeira e do gabarito moldado em silicone (Figura 3).



**Figura 3.** Molde de massa de modelar (A), Negativo de resina (B), Gabarito e suporte (C), Sondas de TDR de 1,6 mm de diâmetro (D) (Fotos: Arquivo pessoal)

Foram feitos moldes dos cabeçotes das sondas do tamanho necessário com massa de modelar e uma caixa de madeira e gesso foram utilizados para construir um molde a fim de se obter um negativo dos cabeçotes. Esse molde foi preenchido com resina de cura rápida e fios de fibra de vidro para conferir resistência (Figura 3B), o qual foi utilizado para moldar o silicone. Os gabaritos, junto com as armações das sondas e o molde de silicone, foram preenchidos com resina epóxi, que tem como finalidade formar um bloco resistente que promove sustentação da estrutura das sondas e marcar início da propagação do sinal eletromagnético ( $X_1$ ).

As sondas foram construídas com comprimento de 200 mm e *offset* (comprimento da haste dentro do cabeçote) de 40 mm para as sondas de 3,0 mm de diâmetro e de 15 mm para as de 1,6 mm de diâmetro. Posteriormente foram cortadas e as configurações para o comprimento foram de 200, 150, 100, 70, 50 e 20 mm, para ambos os diâmetros.

As duas configurações de sondas propostas foram avaliadas fisicamente por meio da sensibilidade espacial, coeficiente de reflexão e da impedância característica. Os ensaios para análises do coeficiente de reflexão e da impedância características foram realizados em água deionizada a 20 °C, a qual é considerada como meio padrão para estudos de permissibilidade elétrica (ELAIUY *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2016 b).

A sensibilidade espacial foi utilizada por Elaiuy *et al.* (2009), que descreve a uniformidade de distribuição de energia emitida pela onda eletromagnética em função da água distribuída entre os condutores interno e externo da sonda de TDR. Assim, quanto maior a uniformidade de distribuição melhor será a representatividade da umidade volumétrica espacialmente medida. O autor sugere uma relação prática para auxiliar na avaliação de sondas de TDR:

$$\frac{a}{b} \geq 0,1 \quad (1)$$

em que,

a=diâmetro do condutor interno; e  
b=diâmetro do condutor externo.

O coeficiente de reflexão em função da distância percorrida pela onda eletromagnética apontará

informações importantes sobre o desempenho das características utilizadas no dimensionamento das sondas. Dessa forma, é facilitada a interpretação do sinal eletromagnético gerado pela TDR, o qual deverá apresentar a amplitude das reflexões  $X_1$  e  $X_2$  e um mínimo de sinal eletromagnético captado.

O coeficiente de reflexão foi analisado através da constante dielétrica (K) que é a conversão da onda eletromagnética, de acordo com Souza *et al.* (2016b):

$$\left( \frac{\Delta X}{V_p * L} \right)^2 \quad (2)$$

em que,

$\Delta X$ =distância percorrida pela onda eletromagnética ( $X_2 - X_1$ ), m;

$V_p$ =Velocidade de propagação, 0,99 (99% de c);

c=Velocidade da luz,  $3 \times 10^8$  m s<sup>-1</sup>; e

L=comprimento da haste, m.

A impedância característica ( $Z_0, \Omega$ ) é o modo de expressar o fenômeno que relaciona a variação de voltagem e corrente com distância ao longo de uma linha de transmissão uniforme, sendo geralmente utilizada para avaliar a performance de sondas de TDR. Em geral, sondas com  $Z_0$  superior a 200  $\Omega$  são inadequadas para determinação de teor de água no solo, pois neste caso a impedância característica pode causar um aumento na atenuação do sinal da onda eletromagnética a ser analisado durante a distância percorrida, prejudicando, assim, a interpretação do sinal eletromagnético. Segundo Souza *et al.* (2016b), pode-se medir  $Z_0$  por determinação do coeficiente de reflexão da sonda (p), quando ela estiver envolta por um material dielétrico uniforme.

$$Z_0 = Z_u * K^{0,5} * \frac{(1+p)}{(1-p)} \quad (3)$$

em que,

$$p = \left( \frac{V_1}{V_0} \right) - 1 \quad (4)$$

$V_0$ =Amplitude do sinal eletromagnético gerado pelo TDR;

$V_1$ =Amplitude do sinal eletromagnético depois da reflexão do início da sonda; e

K=Constante dielétrica.

Para a realização dos testes mencionados, a impedância característica de cada sonda e o coeficiente de reflexão foram analisados pelos softwares WinTDR<sup>1</sup> (Utah State University, Utah, EUA), TDRLab<sup>4</sup> (CSIC – Conselho Superior de Investigações Científicas – Espanha) e PCTDR<sup>4</sup> (Campbell Scientific, Inc.). Os testadores de cabos utilizados foram o Tektronix 1502C<sup>4</sup> e TDR100<sup>4</sup> da Campbell Scientific (Figura 4), sendo que o primeiro software é específico para o Tektronix, e o último para o TDR100.



**Figura 4.** Reflectômetros utilizados - Tektronix 1502C (A), TDR100 (B) (Fonte: www.tek.com; www.campbellsci.com)

As leituras para o cálculo da  $K$  e da  $Z_0$  foram repetidas três vezes para cada configuração de sonda proposta e software utilizado. Os valores médios foram comparados às suas respectivas referências apresentadas na literatura em água deionizada a 20 °C,  $K = 81$  e  $Z_0 < 200 \Omega$ , respectivamente (ELAIUY et al., 2009; SOUZA et al., 2016 b).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As sondas de 3,0 mm foram confeccionadas em um gabarito muito citado na literatura (SANT'ANA et al., 2012, SONCELA et al., 2013) e possuem uma sensibilidade espacial igual a 0,11 ( $a=0,003$  e  $b=0,027$  m). Nas sondas com 1,6 mm de diâmetro, cujo gabarito foi construído, se utilizou a análise de sensibilidade espacial (Equação 1) para obter o espaçamento entre hastes. Nesse caso, a

1 - Referências à marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

conformação espacial das hastes apresentou uma distância de 8,0 mm entre o condutor interno e o externo para uma sensibilidade espacial de 0,10 ( $a=0,0016$  e  $b=0,016$  m), o que requereu maior habilidade na soldagem e na confecção do gabarito e do molde de silicone.

Os testes feitos utilizando Tektronix com o software WinTDR apresentaram comportamento adequado para a haste de 1,6 mm, porém houve dificuldades na leitura das hastes de 3 mm devido ao aumento significativo da impedância conforme diminuía o comprimento das sondas (Tabela 1). Com software TDRLab, no mesmo equipamento, obteve-se valores de  $K$  mais próximo ao valor referência, 81. O mesmo comportamento, em sua maioria, foi observado quando realizadas as leituras com o TDR100 para este software.

O TDRLab possibilitou quatro tipos de análise: numérico, tangencial, derivada e manual. A análise manual representou uma vantagem importante em relação aos outros softwares por permitir ao usuário a intervenção na localização dos pontos  $X_1$  e  $X_2$ . O software do PCTDR, que acompanha o equipamento TDR100, não foi capaz de ler as sondas de hastes de 1,6 mm de diâmetro. Quando testadas sondas com hastes de 3,0 mm, à medida que diminuía o comprimento das hastes, os valores da  $K$  se afastavam do valor teórico.

Quando os equipamentos e os softwares não conseguiram realizar as leituras, notou-se a dificuldade de encontrar o ponto  $X_1$ , mesmo no método manual do TDRLab. Tal fato pode ter ocorrido devido ao fato do software não ter entendido o cabeçote de epóxi ( $\approx 74 \Omega$ ) como uma mudança de meio expressiva a fim de marcar o início da sonda. Sugere-se, nesses casos, aumentar o tamanho da haste interna ao epóxi, *offset*.

Os resultados demonstram maior impedância característica para o maior diâmetro de hastes (3,0 mm), bem como para comprimentos menores. De uma maneira geral, observou-se que a sonda de TDR com haste de 1,6 mm de diâmetro apresentou o maior valor medido de impedância característica, atingindo  $239,5 \Omega$  para o comprimento de haste de 20 mm, superior ao recomendado ( $200 \Omega$ ), porém com ótima sensibilidade espacial. Esse resultado sugere atenção nas medidas de condutividade elétrica, pois são dependentes da impedância do meio e, conseqüentemente, serão limitadas em altas concentrações de sais.

**Tabela 1.** Determinações de  $Z_0$  e da K para sondas TDR (diferentes diâmetros ( $\emptyset$ ) e comprimentos (L) de hastes) utilizando dois equipamentos e três softwares

Sondas		$Z_0$ ( $\Omega$ )	K			
Hastes			Tektronix		TDR100	
			WinTDR	TDRLab	PCTDR	TDRLab
$\emptyset$ - 3 mm						
L (cm)	20	180,15	74,56	75,35	78,58	72,21
	15	190,50	83,40	77,49	89,17	77,38
	10	200,30	84,64	76,90	92,22	78,12
	7	211,68	93,87	76,37	100,55	76,07
	5	259,16	113,53	76,25	110,75	75,56
	2	322,93	132,89	77,16	189,67	*
$\emptyset$ - 1,6 mm						
L (cm)	20	185,83	73,19	*	*	76,30
	15	196,18	72,58	77,47	*	77,53
	10	184,71	72,42	77,42	*	77,41
	7	206,34	79,24	76,61	*	77,39
	5	211,55	72,74	77,09	*	74,79
	2	239,05	85,22	*	*	76,30

\* Os softwares não conseguiram realizar a leitura devido à baixa resolução do algoritmo utilizado para a interpretação da velocidade de propagação da onda eletromagnética em função da configuração da sonda TDR proposta.

Em resumo, os resultados observados sugerem que as sondas propostas possuem características dimensionais apropriadas para atender às atribuições físicas desejadas em uma sonda de TDR para estimar fluxo de seiva em plantas.

## CONCLUSÃO

- O software TDRLab, que possibilitou a leitura manual, se mostrou promissor para analisar sondas de tamanhos menores que as atualmente utilizadas, porém ainda são necessários estudos da constituição física das sondas, principalmente no epóxi, para maior precisão nas leituras.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (2014/20204-2) e ao CNPq (307042/2015-4), pela concessão de Auxílio à Pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, E.; GRICOURT, J.; BERTIN, N.; BONNEFOI, J.; PATEYRON, S.; TAMBY J.P.;

BITTON, F.; CAUSSE, M. Genotype by watering regime interaction in cultivated tomato: lessons from linkage mapping and gene expression. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v.129, n.2, p.395-418, 2016.doi: 10.1007/s00122-015-2635-5

DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L.R.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO FILHO, M.A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de lima ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.404-413, 2007.doi:10.1590/S0100-69162007000300009

ELAIUY, M.L.C.; SATO, L.M.; VARALLO, A.C.T.; SOUZA, C.F. Desenvolvimento e avaliação de sonda de TDR para o manejo racional da água em substratos utilizados na produção de mudas florestais. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.4, n.1, p.117-131, 2009.doi:10.4136/ambi-agua.77

GIRARDI, E.A.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; DELGADO-ROJAS, J.S.; ARAÚJO, J.P.C.

Use of the heat dissipation method for sap flow measurement in citrus nursery trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.4, p.976-983, 2010. doi: 10.1590/S0100-29452011005000007

HERNÁNDEZ-SANTANA, V.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; MORÁN, C. Estimation of tree water stress from stem and soil water monitoring with time domain reflectometry in two small forested basins in Spain. **Hydrological Processes**, New Jersey, v.22, p.2493-2501, 2008. doi: 10.1002/hyp.6845

NADLER, A.; RAVEH, E.; YERMIAHU, Y.; GREEN, S. Evaluation of TDR use to monitor water content in stem of lemon trees and soil and their response to water stress. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p.437-448, 2003. doi: 10.2136/sssaj2003.0437

NADLER, A.; RAVEH, E.; YERMIAHU, Y.; GREEN, S. Stress induced water content variations in mango by Time Domain Reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p.510-520, 2006. doi:10.2136/sssaj2005.0127

PAVAO, G.C.; SOUZA, C.F.; BACALHAU, F.B.; MENDONÇA, T.G.; GRECCO, K.L. Avaliação da técnica da TDR no monitoramento de solução xilemática em cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.1, p.144-150, 2014. doi: 10.15809/irriga.2014v1n1p144

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 8.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 876p.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E.; SOUSA, E.F.

Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro ‘Golden’ cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.285-294, 2009. doi: 10.1590/S0006-87052009000200001

SANT’ANA, J.A.V.; COELHO, E.F.; SILVA JUNIOR, J.J.; SANTANA JUNIOR, E.B.; VEINROMBER JUNIOR, L.A.A. Desempenho de sondas de TDR manufaturadas de diferentes comprimentos de hastes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.36, n.4, p.1123-1130, 2012. doi: 10.1590/S0100-06832012000400007

SONCELA, R.; SAMPAIO, S.C.; VILAS BOAS, M.A.; TAVARES, M.H.F.; SONCELA, A.S. Construção e calibração de sondas de TDR para estimativa da umidade volumétrica em um latossolo vermelho distroférico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.5, p.919-928, 2013. doi: 10.1590/S0100-69162013000500004

SOUZA, C.F.; CIRILO, L.S. ; BASTOS, R.G. ; PERES, J.G.; OLIVEIRA, A.F. Sonda de TDR para a estimativa de umidade em bagaço de Cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.1, p.24-35, 2016a. doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p24-35/2016

SOUZA, C.F.; SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; COELHO, E.F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p.26-42, 2016b. doi: 10.15809/irriga.2016v1n01p26-42