

## **AValiação da Técnica da TDR no Monitoramento de Solução Xilemática em Cana-de-Açúcar**

**GLAUCIA CRISTINA PAVÃO<sup>1</sup>; CLAUDINEI FONSECA SOUZA<sup>2</sup>, FABIANA BRITTI BACALHAU<sup>1</sup>, THAÍS GRANDIZOLI MENDONÇA<sup>1</sup>, KATARINA LIRA GRECCO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Agrônoma, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos; glauciapavao@gmail.com;

<sup>2</sup> Professor Doutor, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Centro de Ciência Agrárias, Universidade Federal de São Carlos; cfsouza@cca.ufscar.br.

### **1 RESUMO**

Compreender o comportamento da água nas plantas e no solo é uma ferramenta importante para um manejo adequado da água na agricultura. A técnica TDR pode auxiliar no monitoramento da água por ser um método preciso e não destrutivo, e ter potencial para monitorar a solução xilemática em plantas. O objetivo desse trabalho foi avaliar sondas TDR na estimativa da solução xilemática em cana-de-açúcar, correlacionando o conteúdo da solução no interior das plantas com a solução disponível no solo. O estudo foi realizado em área de segundo corte da variedade RB928064. Utilizaram-se oito plantas, e foi inserida uma sonda TDR com três hastes de 0,0016 m de diâmetro e 0,02 m de comprimento no quarto internódio e uma sonda TDR com três hastes de 0,003 m de diâmetro e 0,2 m de comprimento verticalmente no solo junto à planta. A umidade volumétrica e a condutividade elétrica das plantas e do solo foram monitoradas durante dezessete dias não consecutivos. Os resultados demonstraram que houve relação entre umidade da planta e do solo, mas não houve para a condutividade elétrica. Entretanto, para maior acurácia da técnica em plantas observa-se a necessidade de calibração com um método padrão de estimativa de solução xilemática.

**Palavras-chave:** umidade do solo, condutividade elétrica, manejo da água.

### **2 INTRODUÇÃO**

Um fator limitante na expansão das áreas agricultáveis é a escassez de água que limita a produtividade de plantas de interesse agrônomo. O uso de técnicas de irrigação pode melhorar a eficiência e garantir precisão no aproveitamento da água pelas culturas (Chaves & Oliveira, 2004). A aplicação eficiente da água envolve, entre outros fatores, equipamentos modernos e um manejo adequado dos sistemas de irrigação. Significando uma aplicação precisa do volume de água com a frequência requerida pela planta. Para tanto, se faz necessário dispor de informações sobre as condições hídricas do solo e evapotranspiração da cultura (Delgado-Rojas, 2003).

A quantidade de água absorvida pela planta pode ser determinada pela medição do fluxo da seiva xilemática, auxiliando no manejo quando submetidas a diferentes condições climáticas e hídricas do ambiente (Delgado-Rojas, 2006). Há vários métodos para estimar o consumo de água pelas plantas e a perda por transpiração, entre estes, o método direto denominado térmico (termopares) (Reis et al., 2009). Estes são aplicados diretamente em campo, sem alterar as condições microclimáticas e fisiológicas das plantas durante as aferições (Delgados-Rojas, 2003). Três métodos são mais usuais para estimar o fluxo de seiva: o método de dissipação de calor, o método do balanço de calor e o pulso de calor (Reis

et al., 2009). Estes métodos se baseiam no movimento da água pelo tronco e em suas propriedades de dissipação térmica (Dragoni et al., 2005).

De acordo com Nadler et al. (2003) a técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem grande potencial para medir precisamente as mudanças no conteúdo de água no caule, sendo praticamente livre de interferências, possibilitando o acompanhamento das mudanças diurnas do fluxo de água em uma única planta. A técnica TDR estima o conteúdo de água em meios porosos e é muito utilizada na determinação do teor de água no solo. Esta técnica baseia-se na velocidade de propagação de pulsos eletromagnéticos em cabos condutores envoltos por um meio de constante dielétrica diferente da constante dielétrica da água (Tommaselli & Bacchi, 2001). Esta técnica é vantajosa, pois não é destrutiva e não utiliza radiação ionizante, além de rápida obtenção de resultados (Souza & Matura, 2002), porém, necessita de calibração do equipamento para cada meio (Souza et al., 2006).

Utilizando-se de sondas de TDR, Nadler et al. (2003) obtiveram resultados expressivos ao avaliar o teor de água em troncos de limoeiros que demonstraram relação entre a quantidade de água retirada do solo e a presente no caule. No caso de mangueiras (Nadler et al., 2006) verificaram que sondas menores podem trazer melhores resultados e danificar menos os tecidos das árvores. Hernández-Santana et al. (2008) estudaram espécies nativas da região do Mediterrâneo na Espanha e apontaram que o TDR pode ser usado como um método de identificação do estresse hídrico em espécies arbóreas.

Nos últimos anos o cultivo irrigado da cana-de-açúcar tem ganhado relevância devido ao aumento em produtividade e número de cortes por plantio. Entretanto, os cultivos irrigados apenas são interessantes se tiverem sustentabilidade econômica, social e ambiental (Bernardo, 2006). A estimativa do conteúdo de água presente na planta de cana-de-açúcar pode auxiliar na sustentabilidade do sistema de irrigação nesta cultura. Dessa forma o objetivo desse trabalho foi testar sondas de TDR a fim de estimar a solução xilemática em cana-de-açúcar, verificando se há correlação entre o estimado e a quantidade de água disponível para o uso das plantas no solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias/UFSCar em Araras-SP, localizado na latitude de 22°18'00" S, longitude 47°23'03" W e 611 m de altitude, no período de maio a junho de 2013. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB928064 em ressoca. O solo é classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2006).

Foram construídas sondas observando critérios citados na literatura, tais como amplitude de reflexão do pulso eletromagnético, impedância inferior a 200  $\Omega$ , uniformidade na distribuição do sinal entre a sonda e o meio e baixo custo na confecção (Souza & Matura, 2002; Heimovaara, 1993). Estas exigências estão ligadas à geometria das hastes que conduzem o sinal eletromagnético, neste caso foram utilizadas duas conformações de hastes: sondas com hastes de 0,003 m de diâmetro e 0,2 m de comprimento (sondas A) para inserção no solo; e sondas com hastes de 0,0016 m de diâmetro e 0,02 m de comprimento (sondas B) para inserir nas plantas.

Foram escolhidas ao acaso quatro touceiras nas bordas e quatro dentro do talhão e nestas nos caules mais centrais foram inseridas sondas B no quarto internódio em posição perpendicular ao nível do solo. Cada planta foi considerada uma unidade amostral para compor as médias. A fim de diminuir a pressão na inserção das hastes e minimizar o rachamento natural da planta utilizou-se fita adesiva. Sobre a fita foram feitas marcações das distâncias

entre as hastes e os furos foram realizados com agulha de seringa, seguida de uma haste pontiaguda e por fim a própria sonda (Figura 1). Verticalmente no solo foram inseridas sondas A, próximo à touceira, para o monitoramento da umidade do solo e condutividade elétrica na região radicular.

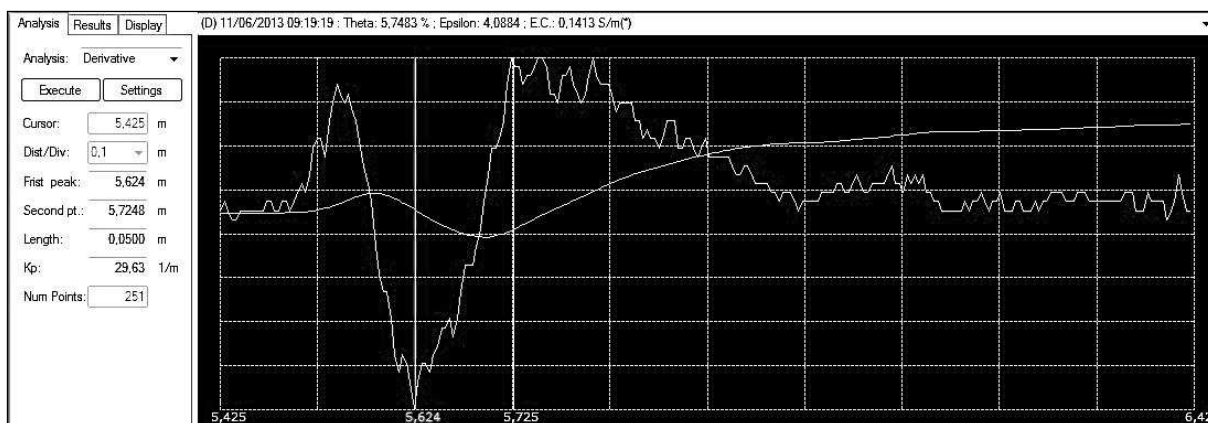


**Figura 1.** Inserção das sondas no colmo de cana-de açúcar e disposição final das sondas no solo e planta.

As aferições foram realizadas utilizando-se o equipamento TDR100 da Campbell Scientific, o software TDR-Lab 1.2.3 (CSIC – Conselho Superior de Investigações Científicas – Espanha), um notebook com capacidade de processamento e um cabo conversor USB-serial. As leituras ocorreram entre nove e dez horas da manhã, em dias não sequenciados, sempre em períodos sem precipitação pluvial.

Todas as sondas foram previamente cadastradas no software TDR-Lab e no banco de dados SQL Server 2008. Os dados requeridos são comprimento, impedância e velocidade de propagação dos cabos coaxiais. Para sondas foram necessários: comprimento de haste, offset, diâmetro, distância entre hastes, constante de célula e impedância. A constante de célula era diferente para cada sonda confeccionada artesanalmente e este dado é importante para o cálculo da condutividade elétrica pelo software, logo ela foi previamente calculada individualmente.

Os parâmetros estimados nas soluções foram divididos umidade volumétrica ( $\theta$ ) e a condutividade elétrica (CE) tanto para a solução do solo, quanto para a solução xilemática das plantas. O método de cálculo utilizado pelo software foi o derivativo tanto para as plantas quanto para o solo. Neste método os pontos de inflexão da curva gerada são encontrados automaticamente pelo software olhando para o mínimo e máximo da função derivada da onda de TDR como pode ser observado na Figura 2. Os cálculos e as curvas dos coeficientes de reflexão gerados automaticamente pelo software foram armazenados no banco de dados para posterior análise.



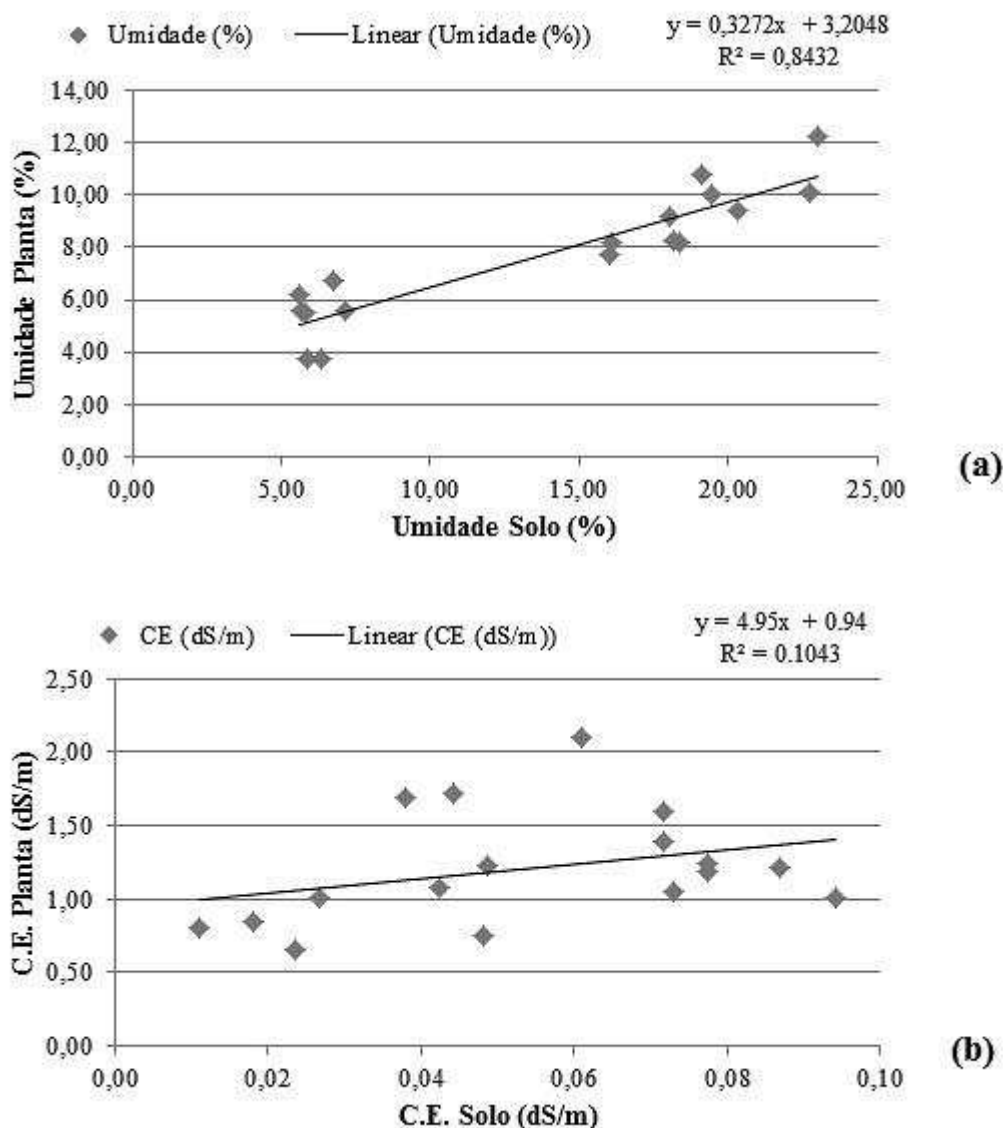
**Figura 2.** Leitura com o método derivativo da sonda B pelo software TDR-Lab 1.2.3 (CSIC).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos encontrados na literatura (Nadler et al, 2003; Nadler et al, 2006; Hernández-Santana, 2008) foram realizados em espécies arbóreas perenes como mangueira, limoeiro e carvalhos. O uso da técnica na cana-de-açúcar é um desafio, por se tratar de uma monocotiledônea (vasos condutores difusos), semi-perene, com corte anual, e com tendência a rachamento devido à disposição vertical de suas fibras. Além disso, a logística no transporte do equipamento por dentro das linhas de plantio é dificultada devido ao bom perfilhamento da planta. Outra dificuldade encontrada ocorreu no início do monitoramento quando as condições climáticas eram de seca e o armazenamento de água no solo a 0,2 m era baixo e houve dificuldades na inserção das sondas e no seu monitoramento.

A Figura 3a traz a correlação entre a umidade estimada do solo e a umidade estimada na planta. Observa-se que há uma separação visível entre alguns pontos de leitura horizontalmente, este intervalo corresponde ao período que as condições de chuva não permitiram o acesso à área do experimento. No período de escassez de água a umidade encontrada no solo estava próxima de 6%, e portanto, as condições eram de um solo muito seco ao ponto que atingiu uma limitação do equipamento. Da mesma forma, quando a  $\theta$  no solo aumentou após as chuvas, a  $\theta$  na planta também aumentou, o que mostra uma tendência de correlação. A variação dos dados de umidade correspondentes ao interior da planta indica que as sondas tiveram sensibilidade no monitoramento. É importante ressaltar que a cana-de-açúcar é uma planta muito resistente às variações de umidade no solo, sendo possível observar em algumas plantas que mesmo com a baixa umidade no solo havia aumento de umidade dentro planta. Este fato indica que a camada estudada de 0,2 m não estava contribuindo significativamente com a absorção de água e nutrientes pela planta no período estudado, e que, provavelmente, houve retirada dos mesmos das camadas mais profundas do solo.

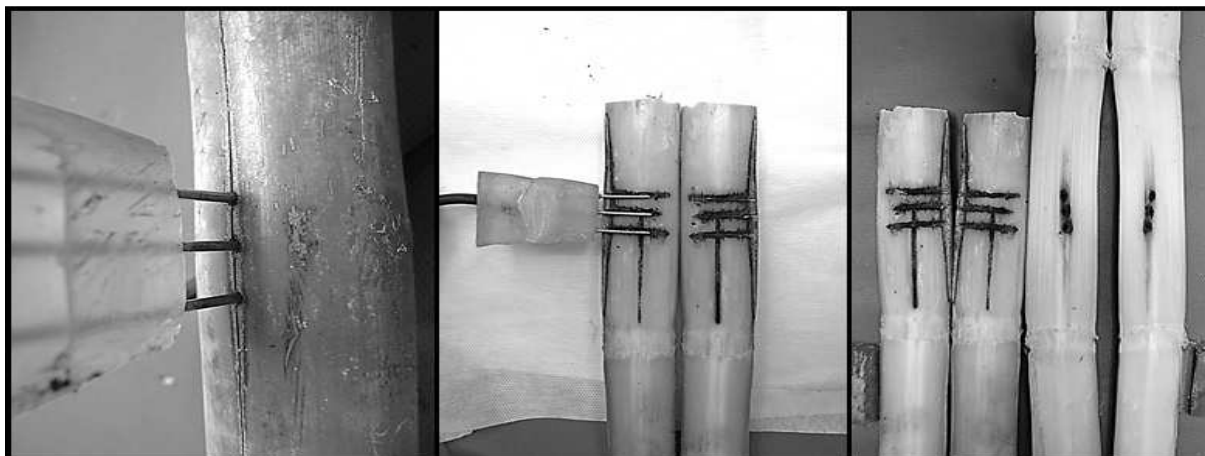
Na análise do parâmetro CE houve maior dispersão dos dados (Figura 3b). Não é possível afirmar uma correlação entre o aumento da CE dentro da planta e aumento no solo, porém, há variação nos valores da CE na planta. Isso evidencia que as sondas B confeccionadas se mostraram promissoras nesse monitoramento da CE dentro da planta por serem sensíveis à variação. Porém, a ausência de correlação mostra a necessidade de ajustes do método às condições da planta, uma vez que na comparação utilizando-se equação ajustada ao solo. A determinação de uma curva de calibração para a CE da solução xilemática ajustaria melhor os valores às condições fisiológicas da planta que são diferentes das condições físicas encontradas na solução do solo.



**Figura 3.** Correlação entre a umidade do solo (a) e condutividade elétrica (b) e da cana-de-açúcar cultivada na região de Araras-SP, durante o período de maio a junho de 2013.

Segundo Nadler et al. (2003) o método é adequado para monitorar o conteúdo de água em plantas lenhosas e acompanhar variações diurnas no conteúdo de água em uma única árvore. Uma vez que em períodos de demanda por evapotranspiração elevada os caules das árvores servem como reservatório de água, a possibilidade de medir a queda do armazenamento durante períodos de estresse hídrico pode vir a ser uma ferramenta ideal no manejo da irrigação, integrando as alterações no solo e no teor de água da planta. Nos resultados de realizados com sondas de 0,07 m de comprimento e 0,003 m de diâmetro, em mangueiras, Nadler et al. (2006) obtiveram uma boa correlação com o método gravimétrico. Da mesma forma, as sondas desenvolvidas com 0,02 m de comprimento foram capazes de monitorar variações, entretanto se faz necessário uma melhor calibração dessas sondas para cada grupo de planta, para maior confiabilidade no monitoramento. O diferencial desses

sensores, em relação aos encontrados na literatura, é o fato de serem menores em diâmetro e em comprimento gerando menores danos aos tecidos das plantas. Como pode ser visto nos cortes transversais e longitudinais dos colmos (Figura 4) aparentemente há oxidação dos tecidos próximo ao local de inserção das hastes. É possível perceber o rachamento do colmo provocado pela inserção das hastes, entretanto essa rachadura limitou-se à camada superficial do colmo. Este rachamento ocorre devido às fibras dos colmos serem longitudinais e pode servir de porta de entrada para patógenos. No entanto, apesar dessas pequenas injúrias não houve perda do caule da planta.



**Figura 4.** Rachadura na região de inserção da sonda e corte transversal e longitudinal em colmos.

## 5 CONCLUSÃO

A técnica TDR no monitoramento da solução xilemática mostrou correlação entre a umidade do solo e da planta e estimou uma tendência de variação na condutividade elétrica da solução xilemática. Entretanto, para maior precisão quanto aos resultados se faz necessário determinar uma curva de calibração das sondas para a CE e com um método padrão, a fim de ajustar o método às condições fisiológicas da planta.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. 2006. Disponível em: <<http://agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-cucar/catalogo/REC000fizvd3t102wyiv802hvm3j4z22bhb.html>>. Acesso em: 29 abr.2013.
- CHAVES, M.M.; OLIVEIRA; M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p.2365-2384, 2004.
- DELGADO-ROJAS, J.S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e de variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, com base para o**

**manejo de irrigação**. 2003. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Irrigação e Drenagem, Esalq, Piracicaba, 2003.

DELGADO-ROJAS, J.S.; RIGHI, C.A.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R.; BERNARDES, M.S.; FOLEGATTI, M.V. Desempenho do método de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. **Engenharia Agrícola**, 2006, v.26, n.3, p. 722-729.

DRAGONI, D; LAKSO, A.N.; PICCIONI, R.M. Transpiration of apple trees in a humid climate using heat pulse sap flow gauges calibrated with whole-canopy gas exchange chambers. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 130, p. 85-94, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: 2ed., 2006.

HEIMOVAARA, T. J. Design of triple-wire Time Domain Reflectometry probes in practice and theory. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 6, p. 1410 – 1417, 1993.

HERNÁNDEZ-SANTANA, V.; MARTÍNEZ-FERNANDEZ, 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. **Hydrol Process**, v.22, p. 2493-2501, 2008.

NADLER, A; RAVEH, E; YERMIYAHU, U; GREEN, S.R. 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**. v. 67, p. 437-448, 2003.

NADLER, A; RAVEH, E; YERMIYAHU, U; GREEN, S.R. Stress induced water content variations in mango by Time Domain Reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**. v.70, p. 510-520, 2006.

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*, 2009, vol.68, n.2, pp. 285-294.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V.; MATSURA, E.E.; OR, D. Calibração da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo. **Engenharia Agrícola**. 2006, v.26, n.1, p. 282-291.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACCHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1145-1154, 2001.