

## UTILIZAÇÃO DA FDR PARA MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO NO PERÍODO DA MATURAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

**OLIVEIRA, Lucas Allan Almeida<sup>1</sup>, NAZARIO, Aline Azevedo<sup>2</sup>, SOUZA, Debora Pantoja de<sup>3</sup>, SANTORO, Bruno de Lima<sup>4</sup>, MATSURA, Edson Eiji<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa-MG, Fone: (0XX31) 3899.4878, lucas11allan@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, Campinas-SP

<sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba-SP.

<sup>4</sup> Engenheiro Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, Campinas-SP

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, Campinas-SP

Apresentado no  
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** A automação na coleta de dados de umidade do solo permite que sejam feitas leituras no mesmo ponto em uma alta frequência de aquisição, sendo possível utilizar esses dados para fazer uma estimativa do consumo de água pelas plantas. O objetivo desse trabalho foi utilizar a técnica de Reflectometria em Domínio da Frequência para estimar a umidade de solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado e avaliar a extração de água promovida pelas plantas durante o período de maturação. A cultura da cana-de-açúcar foi irrigada com esgoto doméstico tratado via gotejamento subsuperficial. Em todos os tratamentos percebeu-se uma crescente diminuição na extração de água pela cultura quando foram comparadas as semanas que antecederam a colheita, devido à diminuição do consumo de água durante o período de maturação para favorecer o acúmulo de açúcar nos colmos. A extração de água se concentrou nas camadas superficiais, por ser esta a região com maior densidade radicular. Conclui-se que: foi possível avaliar as zonas do solo com maior atividade radicular; a técnica da FDR pode ser utilizada para indicar em que profundidades há atividade radicular; a utilização de irrigação alterou a distribuição radicular da cana-de-açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** umidade do solo; Reflectometria em Domínio da Frequência; atividade radicular

### USE OF FDR FOR MONITORING SOIL MOISTURE DURING THE MATURATION PERIOD OF SUGARCANE IRRIGATED WITH TREATED SEWAGE

**ABSTRACT:** Using automatic systems to collect readings of soil moisture allows them to be made at the same point in a high frequency of acquisition, and it is possible using this data to estimate the consumption of water by plants. The aim of this study was to use the frequency domain reflectometry technique to estimate the soil moisture in a sugarcane crop irrigated with treated sewage and evaluate the water extraction promoted by plants during the ripening period. The cultivation of sugarcane was irrigated by subsurface drip irrigation with treated sewage. In all treatments was noticed a growing decrease in the extraction of water for culture when we was compared the weeks leading up to harvest, due to the decrease in water consumption during the maturation period to favor the accumulation of sugar in the stalks. The water extraction was concentrated in the surface layers, as this is the region with the highest root density. In conclusion: it was possible to evaluate soil areas with larger root activity; FDR technique can be used to indicate the depths where there is root activity; the use

of irrigation changed the root distribution of sugarcane.

**KEYWORDS:** soil moisture; Frequency Domain Reflectometry; root activity

## **INTRODUÇÃO**

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância no Brasil e no mundo, utilizada principalmente para produção de açúcar e etanol, foi introduzida no país no período colonial e rapidamente passou a ser uma das principais culturas da economia nacional. Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana, sendo responsável pela comercialização de mais da metade da produção mundial de açúcar e é esperada uma taxa de crescimento média de 3,25% ao ano, dessa forma em 2018/19 está prevista a colheita de 47,34 milhões de toneladas de cana-de-açúcar no país (CONAB, 2014).

Para que ocorra o aumento da produção de cana-de-açúcar ou de qualquer outra cultura é necessário um aumento da área de plantio ou um aumento da produtividade das áreas já cultivadas. Devido à crescente preocupação ambiental, é esperado que diminua a pressão pelo desmatamento e a expansão de novas fronteiras agrícolas. Assim sendo deve-se atentar para a segunda opção, utilizando-se técnicas que aumentem a produtividade das áreas já cultivadas, procurando otimizar a adubação, efetuando o plantio de cultivares mais adaptadas às condições edafoclimáticas do local, otimizando as técnicas de colheita e pós-colheita para diminuir as perdas, utilizando irrigação, dentre outras.

Estudos mostram que para a cana-de-açúcar a utilização da irrigação é uma técnica bastante eficiente no aumento da produtividade, Silva et al. (2009) em um estudo do crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação, ao medir o peso médio dos colmos, verificaram um incremento de 30% do tratamento com maior lâmina de irrigação em comparação com o tratamento sequeiro.

Corroborando com os autores anteriormente citados, Dalri e Cruz (2002) em um experimento onde verificaram o efeito da frequência de irrigação na cana planta verificaram que os tratamentos irrigados e com as maiores doses de fertilizante alcançaram os maiores valores de produtividade, indicando assim a necessidade de não apenas irrigar para incrementar a produtividade, mas também a necessidade da aplicação de fertilizantes.

A utilização de irrigação possui muitas vantagens, mas deve ser utilizada com cautela. No Brasil tem-se enfrentado severos problemas relacionados à oferta de água, as cidades têm aumentado, mais indústrias tem se instalado no país e cada vez mais produtores tem aderido à utilização de irrigação em suas propriedades. Os reservatórios não têm acompanhado a crescente demanda, ocasionando dessa forma em uma escassez de água cada vez mais preocupante. O setor agropecuário é responsável por cerca de 72% da demanda de água em relação aos outros usos. Dessa forma faz-se necessário a otimização do uso dos recursos hídricos na agricultura, tanto pelo manejo adequado de irrigação, como também pela utilização de águas de qualidade inferior, como por exemplo, as águas de esgoto doméstico tratado.

O manejo de irrigação é uma ferramenta importante na otimização do uso dos recursos hídricos, este pode ser feito pelo balanço hídrico do solo, onde é medida a umidade do solo e calculada a quantidade de água necessária a ser aplicada para que o este alcance novamente a capacidade de campo.

A profundidade do sistema radicular também é uma informação de fundamental importância para realizar um adequado manejo de sistemas irrigados. A aplicação de água deve abranger apenas a camada de solo onde existem raízes metabolicamente ativas que irão utilizar a água presente no meio. O excesso de irrigação umedece zonas do solo abaixo das raízes causando o desperdício de água, energia e nutrientes. Dessa forma é importante que se

conheça a zona efetiva de raízes ao se fazer o cálculo da lâmina de irrigação que deve ser aplicada no solo.

Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho foi utilizar a técnica da reflectometria em domínio da frequência para estimar a umidade de solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado e avaliar a dinâmica da água no solo e a extração de água promovida pelas plantas durante o período de maturação.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Caracterização do Experimento

#### 1.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), montado em esquema fatorial 2x2+1 (duas profundidades de instalação do tubo gotejador, duas qualidades de água e a testemunha sem irrigação e com adubação convencional), totalizando cinco tratamentos com cinco repetições (TABELA 1).

TABELA 1. Descrição dos tratamentos empregados na área experimental.

Tratamento	Simbologia	Fonte de Água	Profundidade do tubo gotejador
T1	SI	-	-
T2	A20	Água de reservatório	0,2 m
T3	A40	superficial	0,4 m
T4	E20	Esgoto doméstico	0,2 m
T5	E40	tratado	0,4 m

Cada parcela experimental foi constituída de três linhas duplas de cana-de-açúcar de 17 m (área total da parcela: 91,8 m<sup>2</sup>), sendo a área útil composta pela linha dupla central (linha efetiva) descontando 2 m de comprimento em cada extremidade da parcela (bordadura), totalizando 13 m (área útil da parcela: 23,4 m<sup>2</sup>). Também foram consideradas as duas linhas duplas da extremidade como bordadura. O espaçamento entre duas linhas de cana-de-açúcar foi de 0,4 m (linha dupla), com espaçamento da entrelinha de 1,4 m; sendo o tubo gotejador instalado nos tratamentos irrigados no centro da linha dupla (FIGURA 1).

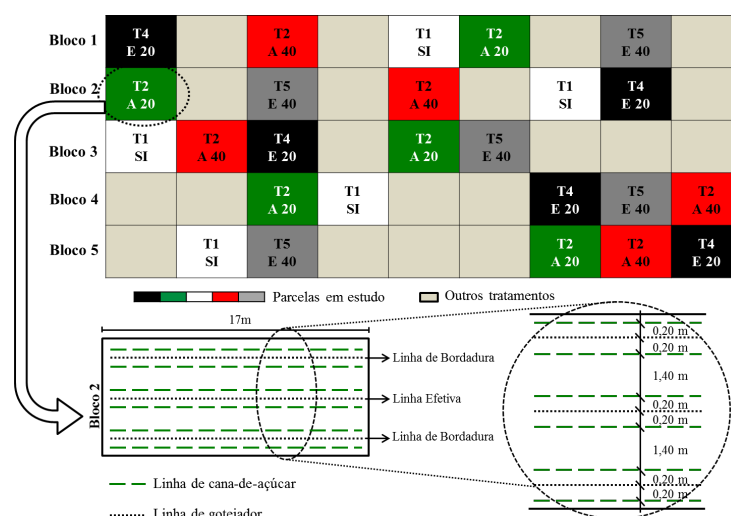


FIGURA 1. Croqui da área experimental e disposição dos tratamentos.

### **1.3 Sistema de irrigação e Manejo**

A água de reservatório superficial (ARS) foi proveniente de uma lagoa localizada próxima à área experimental. O esgoto doméstico tratado (EDT) foi originário das águas residuárias geradas nas diversas edificações da FEAGRI, e tratado em reatores anaeróbicos e tanque de macrófitas. A adubação seguiu a recomendação de Rosseto et al. (2008). Como o solo apresentava adequados valores de P e K, a adubação foi realizada para obtenção de altas produtividades, aplicando como adubação de base 120, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. No tratamento SI, a adubação foi executada aplicando os adubos manualmente na menor estrelinha de plantio (0,40 m), utilizando-se como fonte de NPK, a ureia, o MAP e o sulfato de potássio. Nos outros tratamentos foi utilizado fertirrigação, onde a aplicação dos fertilizantes ocorreu de forma complementar aos nutrientes contidos nas águas de irrigação (Esgoto doméstico tratado e água de reservatório superficial), realizada de acordo com a marcha de absorção de nutrientes da cana-soca (HAAG et al., 1987). Os fertilizantes utilizados na fertirrigação foram o nitrato de cálcio, sulfato de potássio e MAP, com frequência semanal de aplicação. Os fertilizantes foram diluídos em um tanque de 50 L e o sistema de injeção foi do tipo venturi.

As fitas gotejadoras foram instaladas na entre linha da menor fileira de cultivo. Empregou-se a fita gotejadora modelo Dripnet PC (Netafin®, Israel), caracterizada por ser autocompensante na faixa de pressão de 0,4 a 2,4 kgf cm<sup>-2</sup>. A vazão e o espaçamento entre os gotejadores foram, respectivamente, de 1,0 L h<sup>-1</sup> e 0,55 m para a ARS, e 1,6 L h<sup>-1</sup> e 0,65 m para o EDT.

As irrigações foram realizadas no período de outubro de 2013 a junho de 2014, sendo suspensa 45 dias antes do corte, para favorecimento do acúmulo de sacarose no colmo, de acordo com o que é proposto por Cardozo e Sentelhas (2013). O manejo da irrigação foi realizado com base no balanço hídrico do solo considerando a diferença entre a umidade do solo (estimada a partir das leituras da Ka realizadas com o TDR) e a capacidade de campo nas camadas 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m (umidade do solo a tensão de 10 KPa).

Utilizou-se a técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), para determinação da umidade, foi instalado um conjunto de sondas nas três parcelas centrais, até a profundidade de 0,80 m. As informações climatológicas foram obtidas da estação meteorológica automática (EMA) do Centro de Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicada a Agricultura (CEPAGRI, 2013).

## **2. Avaliações**

### **2.1 Avaliação da densidade de raízes**

Posteriormente à colheita, foram coletadas amostras de raízes nos cinco tratamentos avaliados nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm nos três primeiros blocos, totalizando 3 repetições e 15 pontos de coleta. A amostragem das raízes seguiu a metodologia proposta por Fujiwara et al. (1994), utilizando-se uma sonda com 0,072 m de diâmetro interno. A coleta foi realizada por camada, assim o volume amostrado foi de 0,8143 dm<sup>3</sup>. Após a amostragem, realizou-se a separação das raízes do solo, lavando as amostras em peneira de 1 mm e separação das impurezas, palhas e solo residual, com auxílio de pinças. Em seguida as amostras foram secas em estufa a 72°C, até peso constante. Com as amostras secas, determinou-se a massa de raiz seca e estimou-se a densidade de raízes por camada.

### **2.2 Utilização do FDR no monitoramento da umidade do solo**

Para o monitoramento de água no perfil do solo foi utilizado a Reflectometria em Domínio da Frequência (FDR), utilizando sonda do tipo *EnviroSCAN*, produzida pela

empresa australiana Sentek, equipado com uma interface RS 232 que registrava o sinal eletromagnético gerado pelas sondas automaticamente a cada 15 minutos para um coletor de dados (Datalogger CR 800 – Campbell Scientific, Logan Utah). Para a avaliação da umidade no solo, foram utilizadas um conjunto de 5 sondas *EnviroSCAN*, uma em cada tratamento e cada uma equipada com sondas em 8 profundidades diferentes (10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 cm), os tubos de acesso já foram previamente instalados no meio da linha dupla nas proximidades da fita gotejadora.

Com a coleta dos valores de frequência relativa (*scaled frequency-SF*) foi aplicada a curva de calibração para o solo em questão, essa curva foi obtida seguindo especificações do fabricante em um experimento descrito no capítulo 1 desse trabalho.

### 2.3 Análise dos dados e estatística

Para a análise dos resultados encontrados, os dados foram submetidos à análise de variância sendo as médias comparadas aplicando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, utilizando o Software *Assistat*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que a profundidade efetiva do sistema radicular deve ser aquela onde se concentra 80% das raízes (BERNARDO et al., 2008), observou-se que todos os tratamentos avaliados, tanto os irrigados quanto o sequeiro, apresentaram profundidade efetiva até 60 cm. No presente trabalho o sistema radicular foi avaliado até 80 cm de profundidade e os resultados observados estão em concordância com diversos estudos do sistema radicular da cana-de-açúcar (ALVAREZ et al., 2000; FARIAS et al., 2008).

Faroni e Trivelin (2006) observaram 90% das raízes metabolicamente ativas entre 0-40 cm de profundidade. Segato et al. (2006) afirmam que 85% do sistema radicular se concentra a 50 cm de profundidade. Farias et al. (2008) obteve 90 e 80% das raízes em sistema irrigado e sequeiro, respectivamente, nos primeiros 60 cm de profundidade. Sousa et al. (2013) observaram a mesma profundidade efetiva do sistema radicular (40 cm) para o tratamento sequeiro e para os tratamentos irrigados com 100 e 200% de lâmina de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura.

Os tratamentos A20 e E40 obtiveram 80% das raízes até a profundidade de 40 cm. Avaliando o efeito da aplicação de doses de EDT via irrigação por gotejamento subsuperficial e cultivo não irrigado, Sousa et al. (2013) também verificaram 80% das raízes da cana-de-açúcar até 40 cm, com exceção da aplicação de 50% da lâmina requerida que proporcionou maior aprofundamento das raízes, com profundidade efetiva de 60 cm.

A menor umidade do solo na camada superficial do cultivo em sequeiro (SI) pode ter minimizado o crescimento das raízes nessa região, pois os valores de densidade de raiz na camada de 0-20 cm foram menores quando comparado aos tratamentos irrigados (FIGURA 2), mas em compensação foi o tratamento com maior densidade na camada de 60-80 cm, indicando um maior aprofundamento do sistema radicular. Vasconcelos e Dinardo-Miranda (2011) afirmam que em solos secos existe maior dificuldade de crescimento radicular em camadas superficiais, resultando no seu aprofundamento.

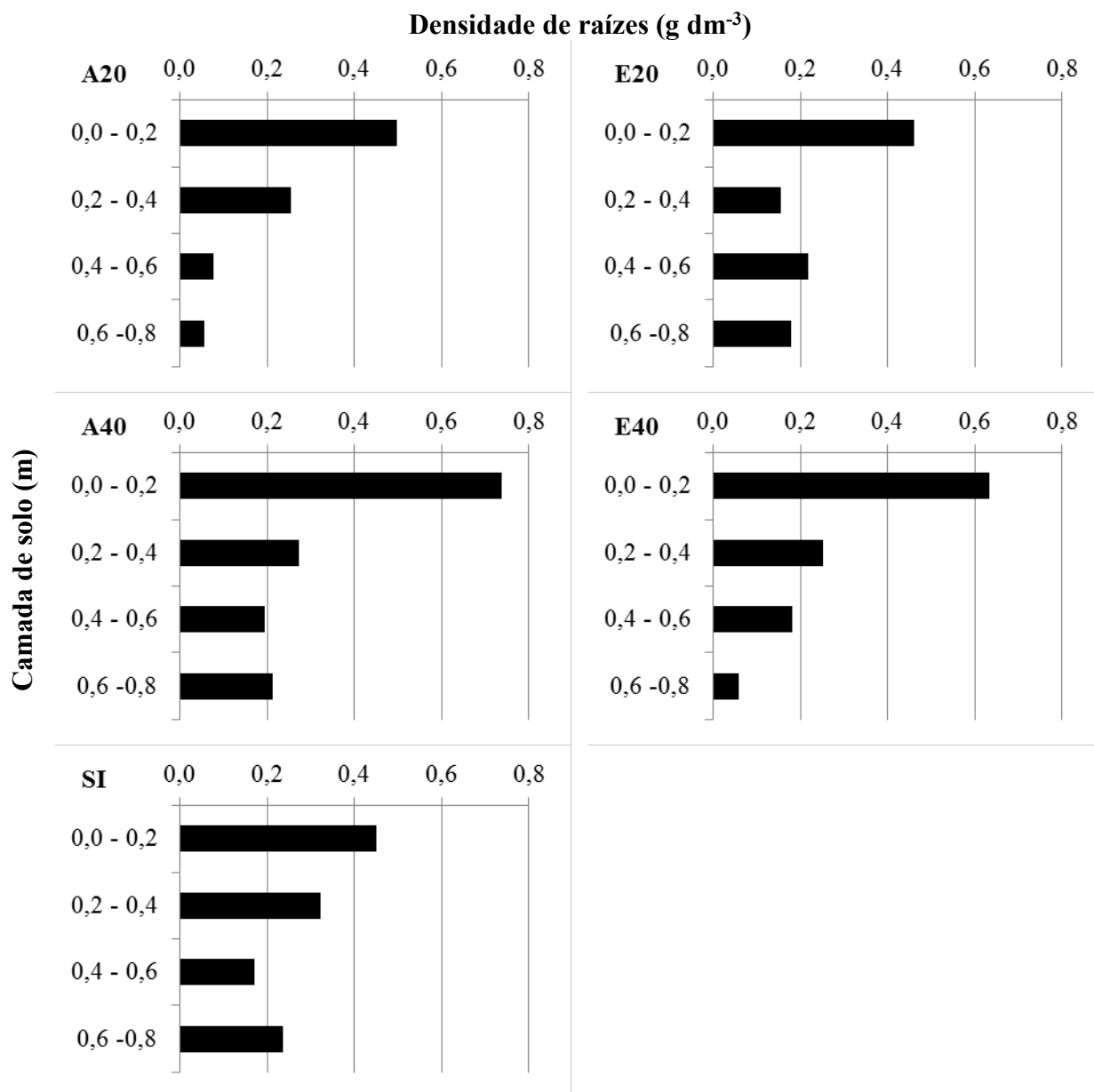


FIGURA 2. Densidade média de raiz por camada avaliada no perfil do solo nos cultivos não irrigado (SI), irrigado com esgoto doméstico tratado com fita gotejadora instalada à 20 cm (E20) e 40 cm (E40) e irrigado com água de reservatório com fita gotejadora instalada à 20 cm (A20) e 40 cm (A40).

Laclau e Laclau (2009) verificaram redução da densidade na camada superficial do solo em um experimento com cana-de-açúcar sem irrigação, resultando numa distribuição homogênea das raízes no perfil do solo até 1 m. Santos (2010) encontrou maior concentração das raízes de cana planta (variedade RB86-7515) em profundidade para tratamento sequeiro, não verificando diferença para distribuição radicular entre tratamento sequeiro e irrigado na 1ª soca. O aprofundamento das raízes para tratamento sequeiro na cana planta observado por Santos (2010) pode ter sido proporcionado pelo maior déficit hídrico, corroborando com os resultados observados na presente pesquisa para o tratamento SI.

Para calcular a extração de água da cultura foram escolhidas épocas onde não houve a entrada de água no solo por precipitação ou por irrigação. Os valores de extração foram obtidos ao subtrair a umidade final da umidade inicial de cada um dos dias avaliados.

As avaliações da extração de água da cana-de-açúcar irrigada foram feitas durante o período de maturação da cultura. Nessa fase fenológica da cultura a planta diminui o consumo de água para favorecer o acúmulo de sacarose, sendo a extração de água bastante diminuída. Para facilitar a análise dos resultados foram utilizados quatro períodos de avaliação, sendo cada um composto por sete dias e dispostos ao longo da maturação da cultura, foram escolhidas semanas onde não houve a ocorrência de chuva.

A primeira semana de avaliação da extração de água pela cana-de-açúcar escolhida foi imediatamente após a suspensão da irrigação. Essa imposição de stress hídrico tem como objetivo estimular e favorecer o processo de maturação da cultura, sendo que dentre as semanas avaliadas, a primeira apresentou a maior extração de água em todos os tratamentos irrigados (TABELA 2). Apenas o tratamento SI manteve uma extração média constante, pois como não havia irrigação neste tratamento o stress hídrico e o processo de maturação possivelmente iniciaram antes dos demais tratamentos. Na primeira semana os tratamentos E20 e A40 obtiveram os maiores valores de extração de água e na última semana todos os tratamentos irrigados obtiveram valores de extração de água estatisticamente iguais, apenas o tratamento SI obteve valor significativamente menor.

TABELA 2. Extração de água diária (mm) para cada semana de avaliação na camada avaliada no perfil do solo (0 a 100 cm) nos cultivos não irrigado (SI), irrigado com esgoto doméstico tratado com fita gotejadora instalada à 20 cm (E20) e 40 cm (E40) e irrigado com água de reservatório com fita gotejadora instalada à 20 cm (A20) e 40 cm (A40).

Tratamento	Semana							
	1		2		3		4	
SI	0,4939	cA	0,3179	bA	0,3398	cA	0,4528	bA
A40	1,2554	aA	0,9484	aB	0,7433	bB	0,7725	aB
E20	1,2754	aA	0,3321	bC	0,4393	cBC	0,5981	abB
A20	0,968	bAB	0,7348	aBC	1,0092	aA	0,688	abC
E40	0,6866	cA	0,2616	bB	0,9133	abA	0,7899	aA

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

Silva et al. (2012) utilizaram sonda capacitiva do tipo *Diviner* para estimar a evapotranspiração da cultura (ETc) de duas variedades de cana-de-açúcar. Os autores acompanharam o consumo de água após o corte até o fim da fase vegetativa das plantas, sendo que no início do processo de maturação os valores de consumo alcançaram valores menores que 1 mm dia<sup>-1</sup>, corroborando com os resultados encontrados em todos os tratamentos deste estudo na primeira semana de avaliação. Osorio et al. (2014) encontraram um consumo médio de 2,4 mm dia<sup>-1</sup> no período de maturação para cana-de-açúcar cultivada no Hawaii, superando os valores encontrados na presente pesquisa, mas vale ressaltar que os autores supracitados afirmaram que houve uma severa diminuição no consumo de água quando comparado à fase de crescimento vegetativo, que alcançou um valor médio de 3,8 mm dia<sup>-1</sup>.

A diminuição no consumo de água na fase de maturação já era esperada, a FAO afirma que o coeficiente de cultura (Kc) da cana-de-açúcar durante a maturação é 0,75, enquanto que durante o crescimento vegetativo esse valor pode chegar a 1,25, ou seja, durante a maturação apenas 75% da demanda atmosférica é suprida. Nos tratamentos E40 e A20 há uma severa diminuição da extração nas camadas abaixo de 20 cm a partir da segunda semana. O tratamento SI alcança valores abaixo de 1mm de extração de água independente da semana

de avaliação, indicando um possível início de stress hídrico e entrada na fase de amadurecimento da cana-de-açúcar.

Em relação à saída de água no solo durante períodos de seca é correto afirmar que esta ocorre basicamente via a evapotranspiração, ou seja, a evaporação direta das camadas superficiais do solo e pela transpiração da planta, onde o sistema radicular absorve a água presente no solo. Logo é possível afirmar que nas camadas de solo em que houver maior densidade de raízes, haverá também uma maior extração promovida pela transpiração da planta. Na FIGURA 3 foram correlacionados os valores de extração média do período de maturação com a porcentagem de raízes por camada de solo, onde é possível perceber um alto valor de correlação da curva. Confirmando dessa forma que quanto maior for a densidade de raízes em uma camada do solo, maior será a extração de água.

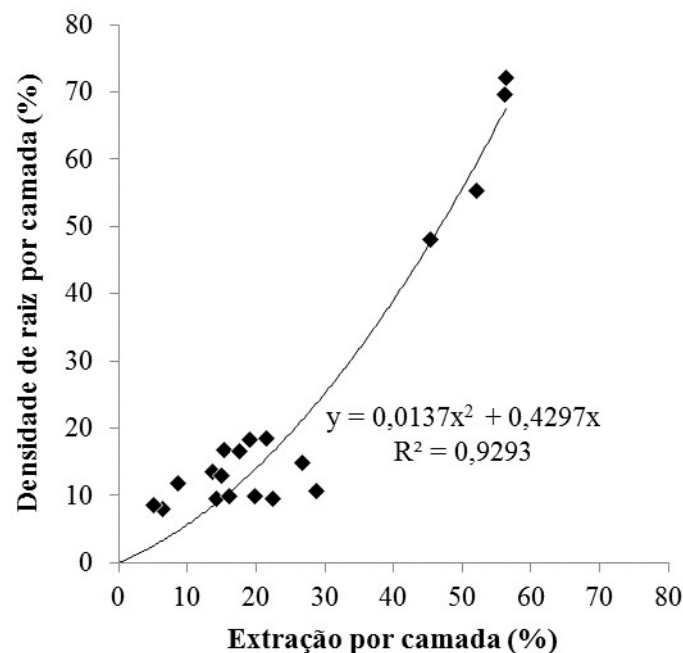


FIGURA 3. Correlação da densidade de raízes de todos os tratamentos por camada de solo com a extração de água média da última semana de avaliação.

Essa boa correlação da quantidade de raízes com a extração de água no solo pode ser utilizada para indicar um aspecto qualitativo do sistema radicular. Dessa forma é possível estimar a profundidade média do sistema radicular de acordo com a ocorrência de extração de água do solo nas diferentes camadas do solo.

## CONCLUSÕES

A utilização da reflectometria em domínio da frequência em cultivo de cana-de-açúcar irrigado com esgoto doméstico tratado foi eficiente para monitorar a dinâmica de água no solo, sendo que foi possível perceber quais são as profundidades onde há maior ou menor extração de água. A comparação dos dados de extração de água com os valores de densidade de raízes, demonstra que a técnica da FDR pode ser utilizada para indicar de forma qualitativa em que profundidades há atividade radicular. A utilização de irrigação com esgoto doméstico tratado alterou a distribuição radicular da cana-de-açúcar, aumentando a densidade radicular e diminuindo a profundidade efetiva do sistema radicular quando comparado ao tratamento sem irrigação.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, I. A. CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Sci. Agric.**, v.57, n.4, p.653-659, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8º ed., Viçosa-MG: UFV, 2008. 625p.
- CARDOZO, N.P.; SENTELHAS, P.C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Sci. Agric.**, v.70, n.6, p.449-456, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira (2014/2015): cana de açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2014** - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2014.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, v. 7, n. 1, p. 29-34, 2002.
- ELAIUY, M.L.C.; SANTOS, L.N.S.; SOUSA, A.C.M.; MATSURA, E.E. Application of treated domestic sewage in the soil for design the subsurface drip irrigation. In: International Conference on Agricultural Engineering/CIGR-AgEng2012 Conference, 2012, Valencia. **Proceedings CIGR**, Valencia: CIGR-AgEng, 2012.
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.
- FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, 2006.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S. A. H.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E. **A técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas: Instituto Agrônomo, 9p. 1994.
- GIRONA, J. MATA, M.; FERERES, E.; GOLDHAMER, D.A.; COHEN, M. Evapotranspiration and soil water dynamics of peach trees under water stress. **Agricultural Water Management**, v.54, p.107-122, 2002.
- HAAG, H. P.; DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar, Cultivo e Utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p. 88-162. 1987.
- LACLAU, P. B.; LACLAU, J. P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 114, p. 351-360, 2009.
- OSORIO, J.; JEONG, J.; BIEGER, K.; ARNOLD, J. Influence of Potential Evapotranspiration on the Water Balance of Sugarcane Fields in Maui, Hawaii. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 6, p. 852-868. 2014.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 882p. 2008.
- SANTOS, D. **Distribuição do sistema radicular e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) fertirrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2010.
- SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C.M. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP, 2006, 415p.

SILVA, A. L. B. O.; PIRES, R. C. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; ROLIM, G. S. Consumo de água de variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial. **Anais: Inovagri International Meetings & IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**. Fortaleza-CE. 2012.

SILVA, C. T. S.; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n1, p.3-12, 2009.

SILVA, F. de A. S. e AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOUSA, A. C. M.; MATSURA, E. E.; ELAIUY, M. L. C.; SANTOS, L. N. S.; MONTES, C. R.; PIRES, R. C. M. Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 647-657, 2013.

VASCONCELOS, A. C. M.; DINARDO-MIRANDA, L. L. **Dinâmica do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar e implicações no controle de nematoides**. 2ª ed., Campinas-SP: Adonis, 2011, 83p.