

ESTADO HÍDRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA VIA GOTEJAMENTO UBSUPERFICIAL COM APLICAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

**RAFAEL F. MORA¹, IVO Z. GONÇALVES², ALINE A. NAZARIO³, EDUARDO A. A.
BARBOSA⁴, EDSON E. MATSURA⁵**

¹ Graduando em Eng. Agrícola, na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP), (19)98205-5841, rafaelmora@hotmail.com.br

² DSc. Engenheiro agrônomo, doutorado pela FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

³ MSc. Engenheiro agrônomo, doutoranda na FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

⁴ DSc. Engenheiro agrônomo, doutorado pela FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

⁵ DSc. Engenheiro agrônomo, professor titular FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Um dos principais problemas para a produtividade da cana-de-açúcar é a reduzida área irrigada devido à baixa disponibilidade de água superficial, mas, o uso adequado de águas residuárias na irrigação pode amenizar este problema. Objetivou-se, avaliar o potencial foliar da cana-de-açúcar e a disponibilidade de água no solo, durante sua segunda soca de cultivo, irrigada via gotejamento subsuperficial, com aplicação de esgoto doméstico tratado em diferentes profundidades de instalação de fita gotejadora. A pesquisa foi realizada na região de Campinas-SP, com os seguintes tratamentos: cultivo irrigado com esgoto doméstico tratado e água de reservatório superficial com as fitas gotejadoras enterradas a 0,20 e 0,40 m no solo, com quatro repetições, fertirrigados, e ainda um tratamento sem irrigação. Foram então avaliados, a quantidade de água disponível no solo pela técnica TDR e o potencial hídrico foliar pela câmara de Sholander em diferentes horários do dia em estágios diferentes de desenvolvimento da cultura. Os resultados mostraram que os tratamentos irrigados, não apresentaram diferenças significativas, e foram superiores ao cultivo sem irrigação devido a maior disponibilidade de água no solo. A aplicação de esgoto doméstico tratado via gotejamento subsuperficial aumenta o potencial foliar da cana-de-açúcar devido a irrigação, consequentemente favorecendo maior produtividade pela cultura.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso de Água, Umidade do solo, TDR

WATER STATUS OF CANE SUGAR THROUGH SUBSURFACE DRIP IRRIGATED WITH TREATED DOMESTIC SEWAGE APPLICATION

ABSTRACT: A major problem for the productivity of sugarcane, is the reduced irrigated area due to the low availability of surface water, but the proper use of wastewater for irrigation can alleviate this problem. The objective was to then assess the potential of leaf cane sugar and water availability in the soil, during his second ratoon crop, irrigated through subsurface drip, with sewage treated at different depths application of drip tape installation. The survey was conducted in CampinasSP, with the following treatments: irrigated with treated domestic sewage and surface water reservoir to the drip tapes buried at 0.20 and 0.40 m in the ground, with four replications, fertirrigated, and even a treatment without irrigation. They were then assessed, the amount of water available in the soil true TDR technique and

the leaf water potential by Sholander chamber at different times of day in different stages of crop development. The results showed that the irrigated treatment, showed no significant differences, and were superior to nonirrigated crops due to greater availability of water in the soil. The application of sewage treated through subsurface drip increases the leaf potential of sugarcane, thus favoring the further development of culture.

KEYWORDS: Water Reuse, Soil moisture, TDR

INTRODUÇÃO

O consumo anual de água pela cultura da cana-de-açúcar está entre 1500 e 2500 mm (DOORENBOS & KASSAM, 1994), e conforme a fase fenológica da cultura, o déficit hídrico pode ter maior ou menor influência sobre a produtividade. Para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca gasosas com a atmosfera (PIRES et al. 2008; SILVA & COSTA, 2004).

Dessa forma, mesmo com uma média pluviométrica de 1424,5 mm da região de Campinas – SP, em uma série histórica com vinte anos de registro, ser considerada alta em relação ao restante do país, sua distribuição é irregular ao longo do ano, sendo os meses de abril a setembro apresentando uma média acumulada de 283,0 mm (CEPAGRI, 2014), e conseqüentemente o rendimento potencial da cultura é reduzido devido a estes períodos de estresse hídrico por falta d'água.

Assim, o uso da irrigação se mostra necessário, principalmente nas épocas com menores ofertas pluviométricas. Os métodos de irrigação mais utilizados na cultura canavieira são dos tipos superfície e aspersão, entretanto, apesar destes métodos aumentarem a produtividade em relação aos cultivos sem irrigação, são pouco eficientes quanto ao uso da água em relação aos métodos de irrigação localizada, e visto que a prática da irrigação é o setor de maior demanda por água no Brasil, responsável por 54% do uso consuntivo (ANA, 2012), faz-se necessário o uso de sistemas de irrigação com maior eficiência no uso dos recursos hídricos.

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS) é o método em que o emissor, responsável pela distribuição da água de irrigação, é instalado no interior do perfil do solo e possui muitas vantagens em relação aos métodos convencionais, como a menor quantidade de água aplicada devido à menor taxa evaporativa do solo.

Contudo com a baixa disponibilidade de água superficial o uso adequado de águas residuárias na irrigação pode amenizar este problema.

Os trabalhos com esgoto doméstico na produção agrícola brasileira são recentes, e em relação a sua aplicação na cultura da cana-de-açúcar não é diferente, sendo realizados em sua maioria no Estado de São Paulo por ser o maior produtor da cultura canavieira no país.

Objetivou-se, então, avaliar o potencial foliar da cana-de-açúcar e a disponibilidade de água no solo, durante sua segunda soca de cultivo, irrigada via gotejamento subsuperficial, com aplicação de esgoto doméstico tratado em diferentes profundidades de instalação de fita gotejadora.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP, localizado nas

coordenadas geográficas: Latitude 22°53'S e Longitude 47°05'W a uma altitude de 620 m. Segundo a classificação climática de Köppen o clima da cidade de Campinas é Cwa/Cfa, ou seja, clima subtropical/tropical de altitude, com temperatura média anual de 22,3 °C, umidade relativa média anual de 62% e pluviometria total anual de 1425 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006). A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB867515.

Cada parcela experimental constou de área de 97,2 m² (5,4 x 18 m), sendo a área total do experimento de 2430 m² (25 parcelas), sendo cultivadas com 3 linhas duplas de cana, considerando as duas dos extremos como bordadura e a central como linha útil. Foram também considerados como bordadura os 2 m iniciais e finais no sentido longitudinal de cada parcela. O espaçamento utilizado entre o centro das linhas duplas (compostas por duas fileiras espaçadas 0,4 m) foi de 1,8 m. Assim, foram utilizados os seguintes tratamentos conforme Tabela 1.

TABELA 1. Tratamentos implantados na área experimental.

Tratamento	Origem da água	Profundidade fita gotejadora (cm)	Vazão do gotejador (L h ⁻¹)
SI	Sem irrigação	-	-
E20	EDT ⁽¹⁾	20	1,6
E40	EDT	40	1,6
A20	ARS ⁽²⁾	20	1,0
A40	ARS	40	1,0

SI: Sem irrigação; E20: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,20 m; E40: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,40 m; A20: água de reservatório superficial aplicado a 0,20 m; A40: água de reservatório superficial aplicado a 0,40 m.; ⁽¹⁾Esgoto doméstico tratado; ⁽²⁾Água de reservatório superficial.

Para os tratamentos irrigados foi instalado o sistema de gotejamento subsuperficial no centro das linhas duplas nas profundidades de 0,20 e 0,40 m (Figura 9). Os gotejadores utilizados foram do modelo **DripNet PC™ AS 16250** (Netafim®) que é do tipo integrado autocompensante, com espaçamento entre emissores de 0,65 m com vazão de 1,6 L h⁻¹. Para prevenir a sucção das partículas do solo foi instalada adicionalmente válvulas antivácuo nos finais de linhas.

Todos os tratamentos irrigados foram fertirrigados com adubação química mineral, considerando a qualidade nutricional da origem da água utilizada, e os nutrientes aplicados conforme a marcha de absorção de nutrientes da cana-de-açúcar de acordo com as recomendações apresentadas por Haag et al. (1987). A fertirrigação foi realizada por sistema de tubo venturi (anexo 7) duas vezes por semana, aplicando-se 120, 40 e 60 Kg.ha⁻¹ para nitrogênio (nitrato de cálcio), P₂O₅ (fosfato monoamônico) e K₂O (sulfato de potássio) total em cada soca. A adubação no tratamento sem irrigação foi realizada em cobertura entre as linhas de plantio (0,40 m), e a fonte de nitrogênio utilizada foi a uréia, atendendo as recomendações de Rossetto et al. (2008) para altas produtividades e seguindo a fertilidade do solo. O sistema de tratamento constitui-se por reator anaeróbico de 4,19 m³ compartimentado, a partir do qual, por meio de tubulações, o esgoto é conduzido até seis leitos dispostos em duas linhas paralelas que contém brita n^o 2 com cultivo de macrófitas.

Para o manejo da irrigação, foram instaladas 5 sondas por tratamento nos blocos centrais, a primeira sonda foi instalada no primeiro gotejador a partir dos dois primeiros metros da bordadura da parcela na linha útil. As sondas foram instaladas com distância de 0,15 m no sentido longitudinal, nas profundidades de 0 - 0,2; 0,2 - 0,4; 0,4 - 0,6; 0,6 - 0,8; e 0,8 - 1,0 m, obtendo assim o monitoramento da água no solo na zona efetiva radicular da cana-de-açúcar, com calibração prévia para o presente solo em questão (SOUZA et al. 2006) conforme Equação 1 com R² de 98%. Foi utilizado o equipamento modelo TDR 100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) com interface RS232 e coletor de dados (CR1000 -

Datalogger – Campbell Scientific) que faz a leitura do sinal eletromagnético automaticamente. Foi feita a avaliação da umidade do solo um dia após a irrigação aos 225 e 260DAC para o monitoramento da umidade no perfil do mesmo e analisar com os resultados fisiológicos.

$$\theta = 3 \times 10^{-5} \cdot Ka^3 - 0,0017 \cdot Ka^2 + 0,0415 \cdot Ka - 0,0603 \quad (1)$$

θ - conteúdo de água do solo (%);

Ka - constante dielétrica aparente (adimensional).

A avaliação do potencial hídrico da folha foi realizada apenas na segunda soca de cultivo, tendo em vista as maiores frequências de irrigações ocasionadas pelas baixas precipitações. Para monitorar o estado hídrico foliar da cultura, o potencial da água (ψ_w , MPa) foi medido em dois períodos distintos no desenvolvimento vegetativo da cultura. Foi realizada uma avaliação utilizando-se a câmara de pressão de Scholander (modelo 3005, Soil Moisture Equipment Corp., EUA), que fornece o potencial hídrico sendo igual e de sinal oposto a pressão necessária para que água saia do xilema de uma folha em uma câmara selada, na folha +2 em cada tratamento às 05:00 horas (pré-amanhecer) antes e após evento da irrigação aos 110 DAC (antes do início da formação dos colmos) utilizando-se seis plantas por tratamento coletadas nos blocos centrais. Neste mesmo dia também foi realizada uma análise às 12:00h.

Uma segunda análise foi realizada aos 161DAC, com as plantas em pleno desenvolvimento vegetativo com os colmos já em formação, entretanto, nesta análise foi realizada apenas uma avaliação ao pré-amanhecer e outra ao meio dia após evento de irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na segunda soca, foi um período atípico para a região de Campinas – SP com baixos volumes precipitados e mal distribuídos durante o período, com verões e invernos secos, o total precipitado foi de 684,06 mm, com média mensal de 57,00 mm, Dessa forma, foi fundamental o uso da irrigação para suprir as demandas hídricas da cultura, conforme Figura 1.

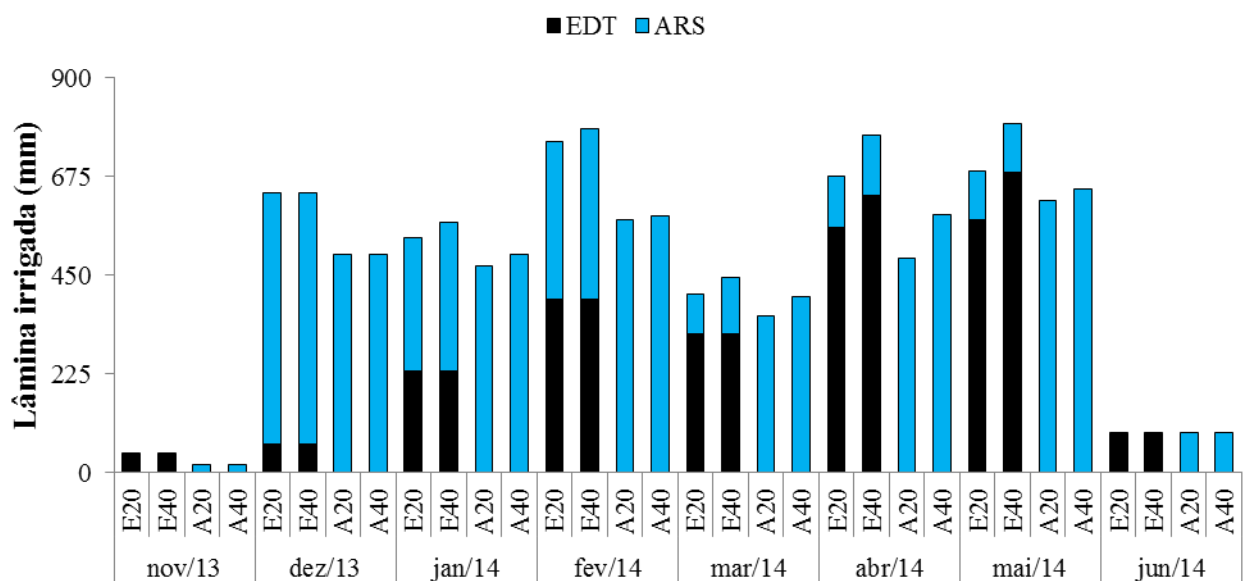


FIGURA 1. Volume mensal irrigado para todos os tratamentos durante a segunda soca de cultivo.

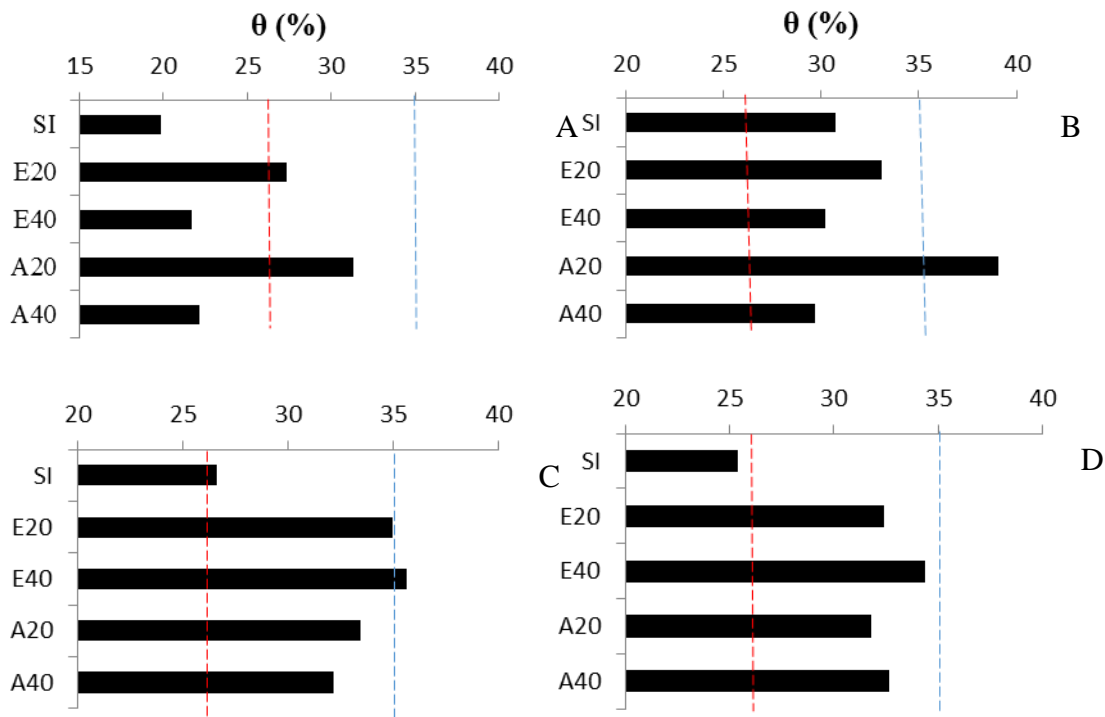
EDT: Esgoto doméstico tratado; ARS: Água de reservatório superficial; E20: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,20 m; E40: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,40 m; A20: água de reservatório superficial aplicado a 0,20 m; A40: água de reservatório superficial aplicado a 0,40 m.

Os tratamentos que foram irrigados com EDT, na maioria dos meses também receberam ARS, isto ocorreu devido a insuficiente oferta de EDT produzido pela FEAGRI durante a segunda soca, devido à elevada demanda por irrigação acarretada pelas baixas precipitações no período.

Os tratamentos em ordem decrescente por demanda total hídrica foram E40 > E20 > A40 > A20 com 4140,16; 3836,28; 3329,29 e 3125,37 m³ ha⁻¹ respectivamente. Quando são analisados os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, isolando a qualidade da água, as fitas a 0,40 m apresentaram o maior volume irrigado, já quando se analisa a qualidade da água, o EDT apresenta o maior volume irrigado independente da profundidade de instalação da fita gotejadora.

Os dados climáticos, mostraram que a prática da irrigação foi fundamental para atender a demanda hídrica das plantas, devido o baixo volume precipitado durante a segunda soca res, o EDT mostrou-se uma importante fonte hídrica em alternativa a ARS.

As avaliações de umidade no solo apresentadas foram realizadas no momento das avaliações das trocas gasosas, com média das avaliações dos dias 225 e 260 DAC (Figura 2).



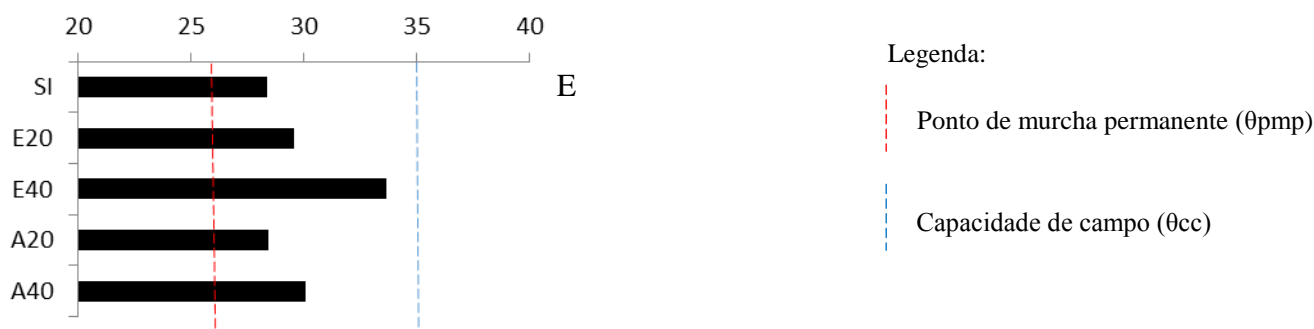


FIGURA 2. Média da umidade no perfil do solo nas camadas de 0-20 cm (A), 20-40 cm (B), 40-60 cm (C), 60-80 cm (D) e 80-100 cm (E).

SI: Sem irrigação; E20: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,20 m; E40: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,40 m; A20: água de reservatório superficial aplicado a 0,20 m; A40: água de reservatório superficial aplicado a 0,40 m.

Nota-se que a umidade do solo para o tratamento sem irrigação foi menor em relação aos demais tratamentos, salve para a camada de 0,20-0,40 m nos tratamentos E40 e A40, devido às fitas gotejadoras estarem a 0,40 m e não ter havido ascensão da umidade no solo. Assim, pode-se observar-se que a umidade do solo foi influenciada pela profundidade de instalação das fitas gotejadoras, pois na superfície do solo, os tratamentos com as fitas a 0,20 m apresentaram maiores teores de umidade, em contrapartida menores teores em profundidades quando comparados com os tratamentos irrigados a 0,40 m.

Em relação aos limites inferiores (θ_{pmp}) e superiores (θ_{cc}) de disponibilidade da água no solo (linha tracejada em vermelho e azul respectivamente), o tratamento SI apresentou teores de água abaixo do θ_{pmp} para as camadas de 0-0,20 e 0,60-0,80 m devido a não oferta hídrica via irrigação e precipitação. Os tratamentos irrigados a 0,40 m apresentaram teores de umidade no solo abaixo do θ_{pmp} apenas na camada de 0-0,20 m, devido à oferta de água estar em maiores profundidades e não ter havido ascensão da mesma.

Para o limite superior, praticamente não houve teores de umidade acima da θ_{cc} , principalmente por não ter ocorrido chuvas após eventos de irrigação, sendo que apenas o tratamento A20 apresentou $39,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na camada de 0,20-0,40 m, exatamente onde foi instalado sua fita gotejadora.

A umidade do solo afetou diretamente o potencial hídrico foliar (FIGURA 3).

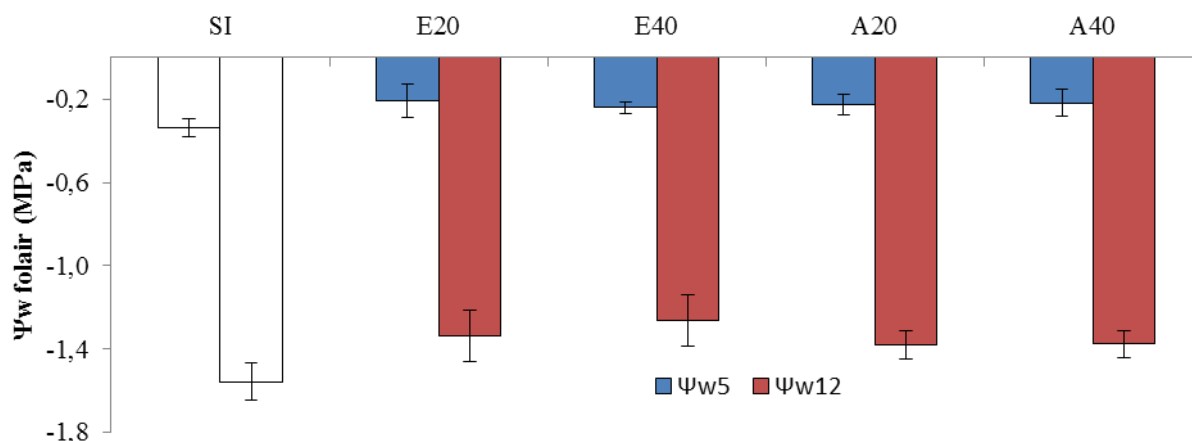


FIGURA 3. Potencial hídrico foliar às 05:00 (Ψ_5) e 12:00 (Ψ_{12}) horas da segunda soca aos 110 DAC para todos os tratamentos.

Médias seguidas pela mesma cor dentro do mesmo tempo não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

SI: Sem irrigação; E20: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,20 m; E40: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,40 m; A20: água de reservatório superficial aplicado a 0,20 m; A40: água de reservatório superficial aplicado a 0,40 m.

Observa-se que as baixas precipitações que influenciaram na umidade do solo, também foram determinantes no menor potencial hídrico nas folhas das plantas não irrigadas aos 110 DAC, e este resultado provavelmente se estenderam por quase todo o período da cultura devido às baixas precipitações no mesmo. Entre os tratamentos irrigados não houve diferenças significativas. Este resultado também se explica, principalmente, pelas menores taxas de trocas gasosas para o SI, pois a menor turgência das células guardas acarreta em menor abertura dos estômatos, diminuindo a entrada de CO_2 para o processo fotossintético (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Na Figura 4, verifica-se que a irrigação antes e depois influenciou no Ψ_w foliar, sendo maior após a irrigação, devido às altas temperaturas no período que favoreceu a transpiração. Para o tratamento SI, ocorreu o inverso, devido à baixa disponibilidade de água no solo.

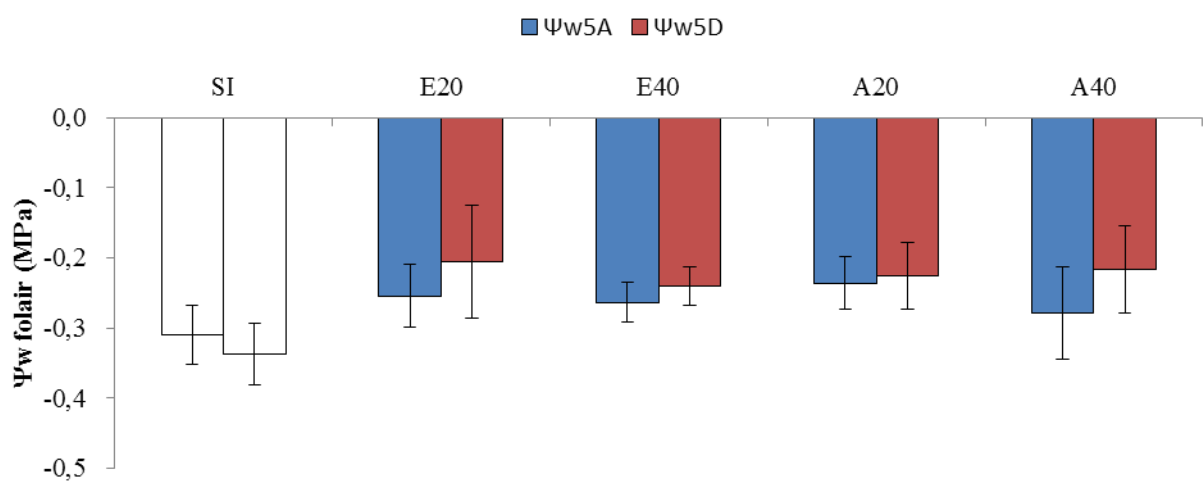


FIGURA 4. Potencial hídrico foliar às 05:00 h antes (Ψ_{5A}) e depois (Ψ_{5D}) da irrigação na segunda soca aos 110DAC para todos os tratamentos.

Médias seguidas pela mesma cor dentro do mesmo tempo não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

SI: Sem irrigação; E20: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,20 m; E40: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,40 m; A20: água de reservatório superficial aplicado a 0,20 m; A40: água de reservatório superficial aplicado a 0,40 m.

O Ψ_w aos 160 DAC apresentado na Figura 5, demonstra que as turgências das células também foram afetadas principalmente pela baixa disponibilidade de água no solo tanto às 05:00 e 12:00 horas, colaborando para a redução nas trocas gasosas para o tratamento sem irrigação como já discutido anteriormente.

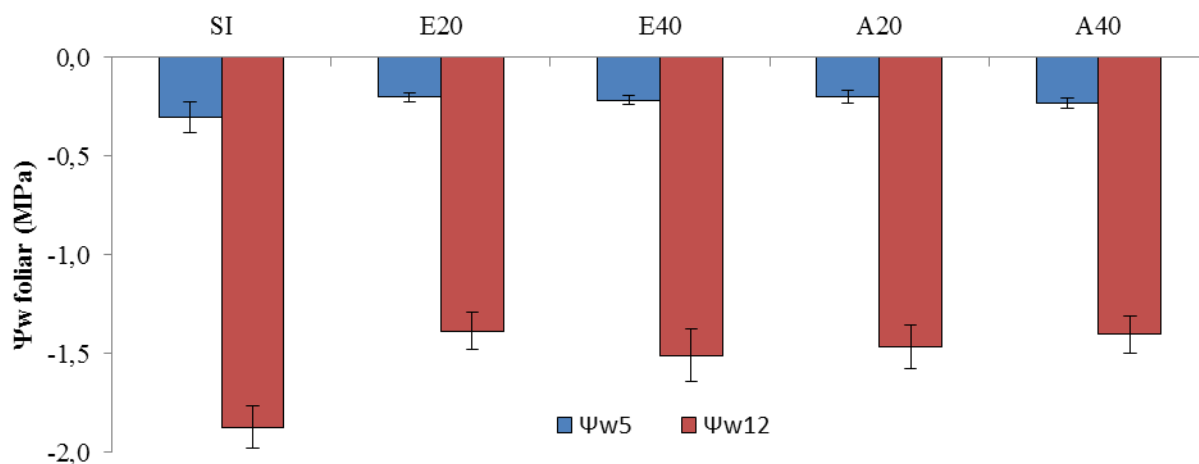


FIGURA 5. Potencial hídrico foliar às 05:00 (Ψ_5) e 12:00 horas (Ψ_{12}) da segunda soca aos 160DAC para todos os tratamentos.

Médias seguidas pela mesma cor dentro do mesmo tempo não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

SI: Sem irrigação; E20: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,20 m; E40: Esgoto doméstico tratado aplicado a 0,40 m; A20: água de reservatório superficial aplicado a 0,20 m; A40: água de reservatório superficial aplicado a 0,40 m.

Com o objetivo de avaliar as trocas gasosas da cana-de-açúcar em função da disponibilidade de água no solo, Machado et al. (2009) avaliando o genótipo IACSP96-2042, concluiu que as trocas gasosas foram afetadas em todas as fases de desenvolvimento da cultura, decorrente também do menor potencial hídrico foliar, o que afetou significativamente na menor produção de biomassa pelos colmos, e conseqüentemente açúcar.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a profundidade que a fita gotejadora é instalada influencia na humidade do solo, e quando irrigado tanto com EDT tanto com ARS, o potencial hídrico da cana-de-açúcar aumenta, e conseqüentemente maior produtividade de colmos quando comparado com a cultura sem irrigação. E EDT mostrou-se uma importante fonte hídrica em alternativa a ARS.

REFERÊNCIAS

ANA, agência nacional das águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**, informe 2012, Brasília, DF, 2012. 215p.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, 882p.

SILVA, A. L. C. da; COSTA, W. A. J. M. de. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, v.16, p.1-12, 2004.

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. **Eng. Agric.**, v. 26, p.282-291, 2006.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: 5. Ed. Artmed, 2013. 954p.