

CRESCIMENTO VEGETATIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) IRRIGADA COM ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

Cley Anderson Silva de Freitas***Alexandre Reuber Almeda da Silva****
Francisco Marcus Lima Bezerra*Clemilton da Silva Ferreira******
Ricardo Rodrigues de Andrade*****

RESUMO

O uso de água residuária na irrigação agrícola propicia a reciclagem dos nutrientes presentes no esgoto doméstico, a redução do uso dos fertilizantes comerciais e minimiza os impactos ambientais pela não deposição das águas residuárias nas calhas dos rios. Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes lâminas de águas residuárias tratadas e de poço freático. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação; nas subparcelas foram distribuídas cinco lâminas de irrigação baseadas em percentuais da evaporação do tanque classe A (ECA), que corresponderam à multiplicação da ECA pelos fatores 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25. A partir dos 52 dias após o plantio (DAP) avaliaram-se, mensalmente, as variáveis diâmetro dos colmos, altura das plantas e dos colmos e o número de plantas por metro linear. As irrigações com água de esgoto doméstico tratado proporcionaram os maiores valores médios de diâmetro dos colmos, altura das plantas e dos colmos. A lâmina de irrigação referente a 150 % ECA (937,5 mm) proporcionou maiores alturas das plantas e dos colmos.

PALAVRAS-CHAVE: Água de reuso. Biomassa. Manejo de irrigação. Agricultura.

VEGETATIVE GROWTH OF SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* L.) IRRIGATED WITH WATER FROM TREATED DOMESTIC SEWAGE

ABSTRACT

The use of sewage water in agricultural irrigation promotes recycling of many nutrients present in domestic sewage, reduction of commercial fertilizers and minimizes environmental impacts, by absence of deposition of residual water in the gutters of the rivers. Thus, the objective of this study was to evaluate the vegetative development of sugar cane irrigated sob different irrigation levels treated with sewage water and well water. The statistical design used was randomized block in split-plots with four replications. In the plots, we evaluated the effect of two types of irrigation water and the subplots were five irrigation levels distributed based on percentage of evaporation class "A" PAN, which corresponded to the multiplication of ECA by factors 0.50; 0.75; 1.00; 1.25 and 1.50. From 52 days after planting (DAP) were collected monthly: stem diameter, plant and stem height and the number of plants per linear meter. The irrigation by domestic sewage water resulted in higher stem diameter, plant height and stem height. The irrigation level related to 150% ECA (937.5 mm) resulted in higher plant and stem height.

KEYWORDS: Water reuse. Biomass. Irrigation management. Agriculture.

* Doutor em Engenharia Agrícola. Professor do Instituto Federal do Ceará - *campus* Avançado de Tianguá. E-mail: cleyanderson@ifce.edu.br; **Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. E-mail: alexandre_reuber@hotmail.com; ***Doutor em Irrigação e Drenagem. Professor da Universidade Federal do Ceará. E-mail: mbezerra@ufc.br; **** Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal do Ceará. Professor do Instituto Federal do Ceará – *campus* Avançado de Tianguá.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das espécies mais cultivadas no Brasil, principalmente para produção de açúcar e álcool. Uma das características que favorece o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil são as condições naturais extremamente favoráveis, fato que certamente será útil para firmar o seu devido lugar como futuro líder mundial na produção de etanol no mercado internacional (Kohlhepp, 2010). A produtividade do etanol da cana-de-açúcar por hectare no Brasil (6.800 litros ha⁻¹) é quase o dobro daquele proveniente do milho nos Estados Unidos (3.800 litros ha⁻¹) (Olivério, 2008).

Os desafios de sustentabilidade dos próximos séculos serão, principalmente, a fome; uma vez que as estimativas prevêem que a mesma acometa mais 10 bilhões de pessoas no mundo até 2050; o clima; despertando uma crescente demanda na redução dos gases do efeito estufa e a energia; em busca do uso de fontes de energia limpas e renováveis como, por exemplo, o uso de bicombustíveis que podem ter como matéria prima, dentre outras espécies vegetais a cana-de-açúcar, que no caso resulta no etanol (FAO, 2011).

Além da produção do etanol, a cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) produz o bagaço, que é resultado do acúmulo de fitomassa, considerado como resíduo industrial e que pode ser utilizado para produção de energia elétrica através do processo de co-geração de energia. No caso da co-geração, estima-se um aumento da oferta de energia elétrica em 11,4% da oferta total de eletricidade no País em 2030, o que representa a geração de 136 TWh (PNMC, 2008). Desta forma, o bagaço que outrora era considerado subproduto atualmente é fundamental para fortalecer a matriz energética brasileira.

A cana-de-açúcar produz grandes quantidades fitomassa e para isso são necessárias grandes quantidades de nutrientes e de água. Segundo Coleti *et al.* (2006), a quantidade de macro nutrientes extraídos durante a produção da cana obedece a seguinte ordem: K>N>P>Mg>Ca. Oliveira (2008) trabalhando com 11 variedades de cana-de-açúcar irrigada, em Carpina-SE, constatou que com a produtividade de 196 Mg ha⁻¹ de cana são exportados em média 98; 15; 184; 193 e 63 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Quanto às necessidades hídricas, considera-se que são necessários entre 1.500 a 2.000 mm de água bem distribuídos durante todo o ciclo da cultura (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Contudo, recentemente, vários autores têm obtido altas produtividades, em torno 155 Mg ha⁻¹, com aproximadamente 1.500 mm de água por ciclo (Maule *et al.*, 2001).

Oliveira *et al.* (2010) ressaltam que a avaliação de algumas variáveis morfológicas das plantas como, altura, diâmetro, número de plantas por metro linear, área foliar e produção, tornam possível a identificação da capacidade produtiva da cultura, além de analisar os efeitos do manejo cultural adotado sobre a espécie. Dantas Neto *et al.* (2006) testando quatro lâminas de irrigação (807, 986, 1164, 1343 mm) no cultivo da cana-de-açúcar, primeira soca, observaram aumento linear nas variáveis de crescimento (comprimento do colmo, diâmetro do colmo e número de internódios do colmo) em função da disponibilidade hídrica do solo.

O nordeste brasileiro, por suas particularidades edafoclimáticas como grande intensidade de luz, e o predomínio de solos naturalmente bem drenados, apresenta um grande potencial para a produção de cana-de-açúcar em larga escala, uma vez que tal região reúne fatores ambientais que são extremamente favoráveis ao desenvolvimento desta cultura. O fator que vem sendo apontado como limitante para o cultivo da cana-de-açúcar na região é, sem dúvida, a disponibilidade hídrica, já que, no semiárido nordestino, as médias anuais das precipitações pluviais se situam apenas em torno dos 750 mm. Desta forma, tendo em vista a

elevada exigência de água por parte da cultura, o uso da irrigação acaba se tornando indispensável para o cultivo da cana-de-açúcar na região, em especial no estado do Ceará, onde as precipitações naturais são irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. Diante do grande volume de água requerido na produção agrícola, que chega a ser de aproximadamente 80% da demanda total de água no mundo, as atuais pesquisas na área agrícola têm se voltado principalmente para a problemática da maximização do uso eficiente da água na produção das culturas de interesse econômico, bem como na incessante busca por fontes hídricas alternativas.

A exigência hídrica da cana de açúcar pode ser suprida pelo uso parcial ou total de água residual, fornecida pelas estações de tratamento de água e esgoto até mesmo das pequenas cidades. Além disso, o uso da água residual na agricultura apresenta várias vantagens como: sustentabilidade dos recursos hídricos, minimização da poluição hídrica dos mananciais, possibilidade de economia de fertilizantes e de matéria orgânica, provável aumento da produtividade agrícola, além de permitir maximizar a infra-estrutura de abastecimento de água e tratamento de esgoto pela possibilidade de consolidação de uma utilização múltipla da água (Bernardi, 2003).

Não obstante, os benefícios e o aproveitamento do uso de água proveniente de esgoto doméstico tratado, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) com uso de água de poço e água de esgoto doméstico após ser tratada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de julho de 2010 e maio de 2011, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, pertencentes à Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE), localizado no município de Aquiraz - CE, Região Metropolitana de Fortaleza-CE, com as seguintes coordenadas geográficas locais de referência 3° 54' 05" de latitude sul e 38 ° 23' 28" longitude oeste de Greenwich, a uma altitude média de 14,2 m. O clima da região é classificado segundo Köppen como Aw', corresponde a Tropical chuvoso. O município de Aquiraz – CE apresenta uma precipitação média anual de 1.379,9 mm e a temperatura média anual é de 27°C (FUCEME/IPECE, 2006).

O solo da área está classificado como Argissolo, textura franca arenosa média e relevo plano (EMBRAPA, 2006). Os resultados das análises físico – hídricas e químicas do solo da área experimental são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Características físico-hídricas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010.

Profundidade	Densidade		CEes.	pH	Umidade do solo		Classificação textural
(cm)	(-----kg dm ⁻³ ----- -)		(dS m ⁻¹)	(Água)	(-----m ⁻³ m ⁻³ -----)		(-)
	Solo	Partícula			33Kpa	1500Kpa	
0 - 25	1,52	2,65	0,23	6,2	3,64	2,42	Areia
25 - 50	1,54	2,69	0,15	6,0	3,53	2,48	Areia

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza, CE, 2010.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010.

Prof. (cm)	N (g kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (-----mg dm ⁻¹ -----)	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	M.O (mg kg ⁻¹)
0 - 25	0,5	5,04	74	87	1,0	0,7	0,15	1,32	6	8,69
25-50	0,3	3,72	30	50	1,6	0,5	0,15	1,48	3	6,41

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza, CE, 2010.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas (*split-plot*) com dois tratamentos na parcela, cinco na subparcela, com quatro repetições. As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AF; e de esgoto doméstico tratado - AE). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação (50, 75, 100, 125 e 150%) conforme a evaporação medida através de um tanque Classe “A” (ECA). As parcelas eram de 6,00 m de largura por 12,00 m de comprimento. As subparcelas eram constituídas por quatro linhas de plantas de 6,00 m de comprimento, sendo as duas linhas externas consideradas como bordaduras, de modo a evitar qualquer influência entre os tratamentos, e as duas internas com linhas úteis. Foi adotado o espaçamento de 1,2 m entre linhas.

A variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) avaliada foi a SP – 716949, por se tratar de um material geneticamente adaptado ao clima característico da região nordeste do Brasil. O material vegetal empregado como “cana semente” foi doado pela Empresa Ypióca, situada em Fortaleza-CE.

O preparo do solo iniciou com uma roçagem, seguida de uma gradagem cruzada. A abertura dos sucros manualmente, com profundidade aproximada de 0,35 m e espaçamento de 1,2 m entre sucros. O plantio foi realizado em 13 de maio de 2010, conforme Dalri *et al.* (2008).

A adubação foi baseada na análise química do solo e nas exigências nutricionais da cultura. Foi aplicado o equivalente a 150 kg de N ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 120 kg de K₂O ha⁻¹, tendo sido utilizado como fontes de nutrientes o sulfato de amônio, o fosfato de monoamônio (MAP) e o sulfato de potássio, respectivamente. Os fertilizantes foram distribuídos via água de irrigação (fertirrigação), durante toda a fase vegetativa da cultura. Para suprir possíveis deficiências de micronutriente foi aplicado o correspondente a 12 kg de FTE – BR 12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo) sendo 5 g m⁻¹, na fundação. Nesta ocasião, aplicou-se ainda o equivalente à 10 mg ha⁻¹ de esterco bovino, conforme a recomendação da Universidade Federal do Ceará (1993).

A água de esgoto doméstico utilizada no presente estudo foi proveniente de domicílios do município de Aquiraz - CE. Para o tratamento do esgoto foi utilizado o sistema de lagoas de estabilização (CAGECE, 2011). As características químicas da água de esgoto e do poço estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características da água de poço e do esgoto usados na irrigação das parcelas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L) em Aquiraz, CE, 2010.

Tipos de água	pH	CEa dS cm ⁻¹	Na	Ca	Mg	K	Cl	NH ₄	P	ST	SST	SDT	DBO	DQO ñ filtrada
Poço	6,0	208	19,2	16,0	16,2	10,1	37,7	0,0	0,2	219,3	6,8	214,8	16,6	72,6
Esgoto	7,8	727	53,7	45,4	28	26,2	92,5	7,7	12,8	520,6	15,2	547,5	36,7	111,8

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza, CE, 2010.

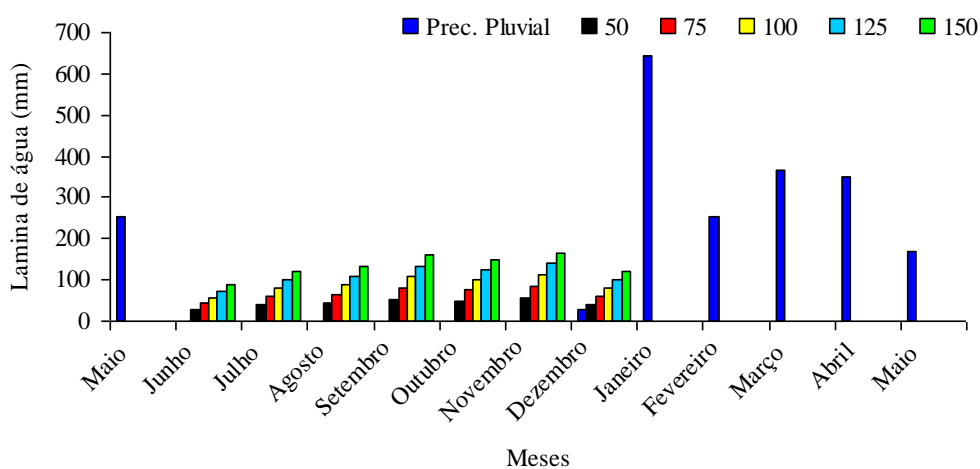
O método de irrigação adotado foi do tipo localizado, sendo dois sistemas (um para irrigação com água de esgoto doméstico tratado, o outro para irrigação com água de poço

freático) constituídos por: conjunto motobomba de 5 cv; cabeçal de controle, constituído por filtro de disco, tomada de pressão e registros; tubulações, linha principal, linha de derivação, e nesta continha um cavalete com hidrômetro; gotejadores tipo autocompensantes, modelo Katif[®], com vazão de 3,75 l h⁻¹ a uma pressão de serviço de 100 kPa.

Nos primeiros 52 dias após plantio (DAP), todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação, referente a 100% da evaporação do tanque classe “A” (ECA), objetivando, com isso, estabelecer uma uniformidade no estande de plantas. As irrigações foram realizadas com um turno de rega fixo de dois dias consecutivos. Após o 52 DAP deu-se então a diferenciação das lâminas de irrigação.

Devido às altas precipitações registradas entre os meses de maio de 2010, e entre Janeiro e Maio de 2011, as irrigações não foram realizadas. As médias pluviométricas e as lâminas de irrigações mensais durante o período de execução do experimento estão expostas na Figura 1. Como em 13 maio de 2011 a cana-de-açúcar completou 1 ano de cultivo (estádio de maturação), a irrigação foi suspensa para que, a partir de então, passa-se a se efetivar o acúmulo de açúcares, antes da realização da colheita.

Figura 1 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento no período de 09/11 de 2009 a 9/02 de 2010 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias em Aquiraz, CE, 2010.



A partir dos 52 DAP foram coletadas mensalmente as seguintes variáveis vegetativas: Número de folhas, considerando o número de folhas totalmente abertas por planta; Número de plantas por metro linear, selecionados aleatoriamente de duas secções de 1 metro linear, totalizando assim 2 metros lineares; Altura de plantas e altura do colmo em centímetros, medidos com auxílio de uma trena métrica graduada; Diâmetro do colmo, mensurado a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo, com o auxílio de um paquímetro digital e o número de internódios por planta, mediante a observação e a contagem direta.

Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparados através do teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa, foram submetidos ao estudo de regressão, utilizando-se para isso os softwares para análises estatísticas da Universidade Federal de Viçosa-MG (2005) SAEG 9.0 UFV e o ASSISTAT 7.6 Beta da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, não apresentada, houve diferença significativa a ($p < 0,01$) pelo teste F para o diâmetro do colmo (DC) apenas aos 328 DAP, em função do tipo de água de irrigação (A). Já para os tratamentos lâminas de irrigação foi observado efeito significativo do DC a partir dos 237 DAP. Sugerindo assim uma maior sensibilidade da cultura à disponibilidade hídrica no solo, em detrimento aos próprios atributos químicos inerentes à qualidade da água de irrigação. Dantas Neto *et al.* (2006) também observaram efeito significativo do diâmetro do colmo em função da disponibilidade hídrica. Já aos 328 DAP foi observada uma interação significativa, entre os fatores tipo de água e lâminas de irrigação (A x B), indicando, portanto, a dependência entre os mesmos.

Na comparação das médias da variável em questão, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, evidencia-se que o maior diâmetro do colmo (DC) foi constatado aos 328 DAP (26,94 mm) e foi obtido com o uso do efluente na irrigação, diferenciando-se estaticamente do diâmetro do colmo obtido com água de poço freático (25,82 mm) (Tabela 4). Estes valores de DC foram superiores aos médios observados por Silva *et al.* (2009), que foram de 23,8 mm e 22,1 mm para cana-de-açúcar, variedade SP-791011, sob cultivo de sequeiro e irrigado, respectivamente. Diferença esta que pode estar diretamente associada à componente genética, já que no presente trabalho foi utilizado como planta teste a variedade de cana-de-açúcar SP-716949.

Até os 207 DAP não foi verificado diferença significativa do diâmetro do colmo em função das lâminas de irrigação, revelando que provavelmente a lâmina referente a 50% da ECA, até este período, se mostrou suficiente para atender as necessidades hídricas da cultura. Outra hipótese seria o fato de que esta variável vegetativa é pouco influenciada pela condição hídrica da cultura, não sendo recomendada para expressar a real necessidade de água (Tabela 4). Entre os 237 e 296 DAP foi verificado maior diâmetro do colmo (DC) para a lâmina correspondente a 150% da ECA, embora, não tenha diferenciado estatisticamente dos obtidos com as lâminas de irrigação equivalentes a 75% e 125 % da ECA. Já aos 328 DAP, os maiores DC foram obtidos com a lâmina de irrigação correspondente a 100% da ECA, não se diferenciado estatisticamente do DC obtidos com as lâminas de 125% e 150% da ECA.

Tabela 4 – Diâmetro médio do colmo da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, conforme a evaporação estimada através do Tanque Classe “A”, em Aquiraz, CE, 2010.

EC A (%)	DIAS									
	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
50	15,51a	25,41a	24,68a	24,18a	24,39a	24,67a	24,80b	25,11ab	24,70b	24,64b
75	14,71a	25,72a	24,46a	24,90a	24,43a	25,66a	25,04ab	25,23ab	25,50ab	24,48b
100	15,28a	25,17a	23,88a	24,31a	24,02a	25,24a	24,26b	24,22b	24,44b	27,63a
125	14,66a	24,77a	24,18a	24,66a	24,31a	25,26a	25,30ab	25,04ab	25,06ab	27,70a
150	15,24a	25,91a	25,3a	25,52a	25,00a	25,36a	26,05a	25,93a	26,02a	27,45a

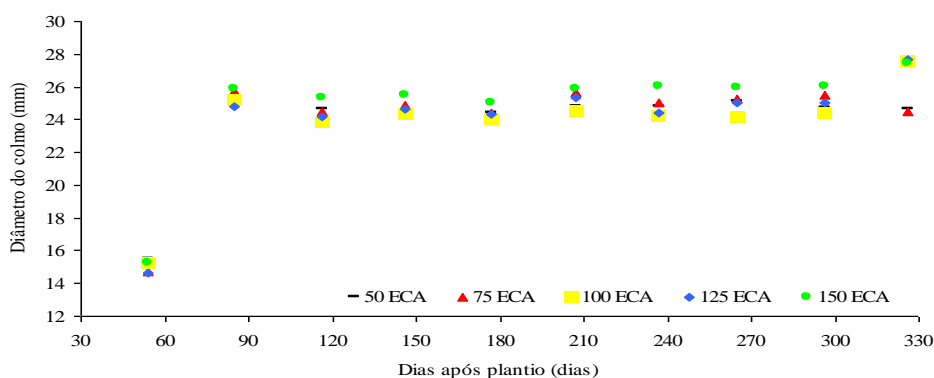
*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados apresentados para característica em questão, em suma, seria recomendada a aplicação da lâmina de irrigação referente a 50% da ECA até os 207 DAP, aumentando para 75% da ECA a partir dos 207 DAP até os 296 DAP, e a partir deste período a lâmina recomendada passaria a ser de 100% da ECA.

Não foi encontrado um modelo matemático capaz de se ajustar aos dados de diâmetro do colmo em função dos dias após o plantio. Porém, de acordo com a Figura 2, pode-se observar um incremento linear ascendente do diâmetro do colmo entre os 54 e os 85 DAP, independente da lâmina de irrigação aplicada. A partir de então, entre o intervalo de 85 e 328 DAP, foi observado uma pequena variação do DC em função do tempo.

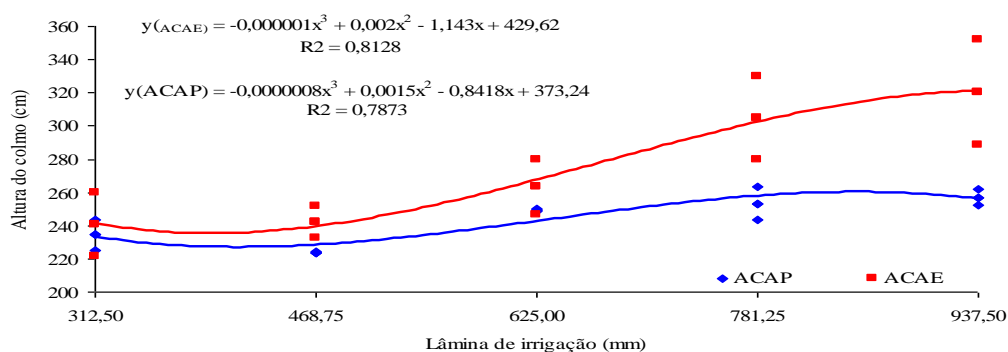
Segundo Azevedo (2002), o ciclo fenológico da cana-soca pode ser dividido em três fases: fase inicial de desenvolvimento, 120 dias; fase de máximo desenvolvimento, 150 dias e fase da maturação, 90 dias. Desta forma, acredita que esta variável vegetativa não é de fato um apropriado parâmetro referência para representar o desenvolvimento da cultura ao logo do ciclo, já que, logo nos primeiros 85 DAP a cultura expressou praticamente já expressou seu máximo desenvolvimento.

Figura 2 - Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) das cinco lâminas de irrigação em função do dias após o plantio.



Ao final do primeiro ciclo da cultura, aos 328 DAP, foi observado incremento do DC em função do aumento das lâminas de irrigação. Por meio da análise de regressão constatou-se que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de DC irrigado com água de poço freático foi o polinomial do terceiro grau (Figura 3). Porém, para água de reuso não foi encontrado um modelo matemático capaz de se ajustar aos dados.

Figura 3 - Diâmetro do colmo de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, para água de poço artesiano (DCAP) e água de efluente (DCAE) aos 328 DAP.



Para a variável altura da planta (AP), verificou-se diferença estatística ($p < 0,05$), em função do fator tipos de água, apenas aos 328 DAP. De acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, as maiores médias de AP (424 cm) foram observadas para água de efluente doméstico, em comparação com o valor médio obtido com a irrigação executada com água de poço freático (390,3 cm) (Tabela 5).

Tabela 5 – Altura de planta de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, baseadas na evaporação medida através do Tanque Classe “A” em Aquiraz, CE, 2010.

EC	DIAS										
	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328	
A											
50	94,00 a	167,00 a	179,02 c	191,04 b	179,58 b	200,25 a	194,33 c	229,47 b	300,83 bc	392,50 cd	
75	93,29 a	165,29 a	176,71 c	189,75 b	174,37 b	215,27 a	199,61 c	241,78 b	297,44bc	385,00 d	
100	99,52 a	169,48 a	189,33 bc	197,29 b	182,71 b	210,62 a	213,08 bc	255,33 b	289,44c	407,50 bc	
125	92,42 a	171,31 a	201,19 ab	216,60 a	209,83 a	204,92 a	236,39 b	294,94 a	331,78b	422,50 ab	
150	93,56 a	174,60 a	219,71 a	223,64 a	226,14 a	221,10 a	290,42 a	323,89 a	370,78a	428,33 a	

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A diferença estatística entre as alturas de plantas em função das lâminas de irrigação iniciou aos 116 DAP, revelando que, a partir de então, a disponibilidade hídrica passou a ser um fator limitante ao desenvolvimento vegetativo da cultura (Tabela 5). Tal fato corrobora com Rodrigues (1995), ao afirmar que o crescimento em altura da cana-de-açúcar é contínuo até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento. Já aos 328 DAP foi observada interação

significativa entre os tipos de água e as lâminas de irrigação (A x B), indicando a dependência entre estes fatores.

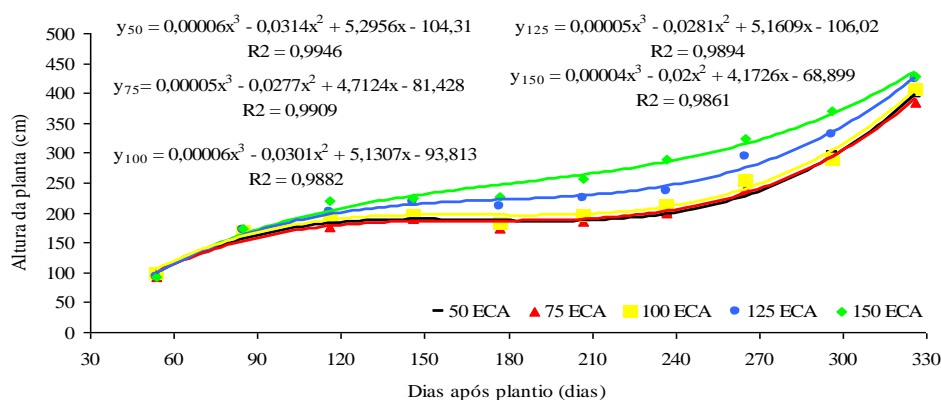
Independente do período, o tratamento correspondente a 150% ECA apresentou o maior valor médio de altura de planta, embora nos períodos de 54, 85 e 207 DAP não foram observadas diferenças estatísticas na variável em questão em função das lâminas de irrigação. Já aos 146, 177, 265 e 328 DAP, embora a altura máxima tenha sido obtida com a lâmina de irrigação referente a 150% da ECA, esta não diferiu da altura observada para 125% da ECA (Tabela 5). Aos 328 DAP a altura de 392,5 cm, obtida com o tratamento 50% da ECA foi superior à observada por Deon (2010), de 240,4 cm e 292 cm para a cana (SP 90-3414) cultivada sob sequeiro e irrigada com 200 % da evapotranspiração da cultura.

De acordo com a análise de regressão foi possível constatar que em todos os tratamentos de lâminas de irrigação, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de altura das plantas frente aos dias após o transplantio foi o polinomial de terceiro grau (Figura 4).

Dos resultados, foi observado que no período de 120 a 237 DAP (setembro a dezembro) ocorreu uma intensa diferenciação das AP obtidas com os tratamentos 125 e 150% da ECA, quando comparadas com as AP obtidas com os tratamentos 50, 75 e 100 % da ECA. A limitação do crescimento e a proximidade entre as alturas de plantas dos tratamentos 50, 75 e 100 % da ECA devem-se provavelmente a restrição hídrica, já que neste período, a cultura se encontrava em intenso crescimento vegetativo e as variáveis meteorológicas também favoreciam a restrição hídrica, uma vez que junto com a escassez pluviométrica, possivelmente ocorreu uma diminuição na umidade relativa do ar, e um aumento na temperatura, e na velocidade do vento.

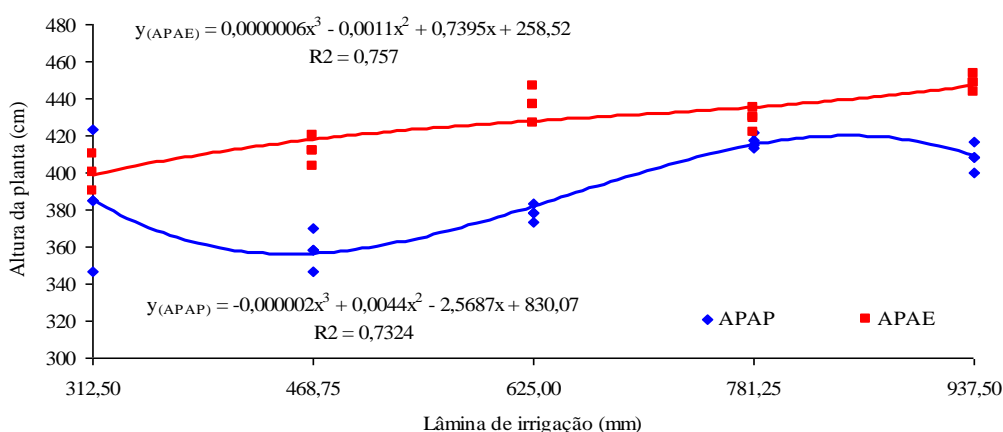
Neste sentido, a recuperação do desenvolvimento da cultura irrigada com as menores lâminas (50, 75 e 100% ECA) aos 328 DAP pode ser justificada pelas grandes precipitações pluviométricas registradas entre os 238 e os 328 DAP (janeiro a abril), que totalizaram 1.618,4 mm. Oliveira *et al.* (2005) avaliando as taxas de crescimento de três cultivares de cana-de-açúcar no Paraná observaram que as maiores taxas de crescimento da cultura concentraram-se entre os 323 e os 377 DAP. Desta forma, presume-se então que o favorecimento hídrico neste período é de fundamental importância para o bom desenvolvimento da cultura.

Figura 4 - Altura de planta de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) nas cinco lâminas de irrigação em função do dias após o plantio, em Aquiraz, CE, 2010.



Quanto aos dados de altura das plantas em função das lâminas de irrigação para os dois tipos de água constatou-se que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi o polinomial de terceiro grau (Figura 5). Pelos resultados, constatou-se que independente da disponibilidade hídrica, as alturas das plantas mensuradas nas plantas irrigadas com água de reuso foram sempre superiores quando comparadas com aquelas mensuradas nas plantas irrigadas com água de poço freático. Consta-se ainda que o aumento da disponibilidade hídrica favoreceu positivamente a altura das plantas. Porém, de acordo com as equações obtidas para se estimar as alturas das plantas irrigadas com água de poço freático e de efluente, evidenciou-se que não foi possível determinar o alcance de um ponto de máximo, foram empregados neste estudo.

Figura 5- Altura da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, para água de poço artesiano (DCAP) e água de efluente (DCAE) aos 328 DAP em Aquiraz, CE, 2010.



De acordo com a análise de variância (não apresentada), foi verificada diferença estatística ($p < 0,01$) do comprimento do colmo em função do tipo de água de irrigação apenas aos 328 DAP. A maior média de altura do colmo (274,27 cm) foi observada para a cana-de-açúcar irrigada com água de reuso, quando comparada com aquela obtida com água de poço freático, que foi de 243,53 cm. Estes valores estão próximos dos observados por Coelho et. al. (2002), que trabalhando com a cana-de-açúcar em Pompeu - MG observaram que a altura média dos colmos se situou em torno dos 253,7 cm. A partir dos 116 DAP foram verificadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) do comprimento do colmo em função das lâminas de irrigação. E aos 328 DAP foi observada uma interação significativa entre os fatores tipo de água e lâmina de irrigação (A x B), indicando a dependência entre estes fatores.

Em todo período avaliado, os maiores comprimentos do colmo foram obtidos com a lâmina de irrigação referente a 150 % ECA, diferenciando-se estatisticamente nas avaliações realizadas entre os 238 e 297 DAP (Tabela 6). Aos 328 DAP não foi verificada diferença estatística ($p < 0,05$) do comprimento de colmos obtidos com 125 e 150% ECA.

Tabela 6 – Comprimento médio do colmo da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, baseadas na evaporação estimada através do Tanque Classe “A”

EC A	DIAS									
	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
50	-	19,21 a	40,13b	52,37c	65,39 b	81,33334a	89,33c	112,86 c	163,83c	237,58bc
75	-	20,43 a	38,77b	49,92c	63,67 b	98,12917a	91,43c	115,59 c	160,84c	232,91c
100	-	20,30 a	45,54a b	57,35b c	72,32 b	93,99999a	104,52c	132,98 bc	176,26c	256,25b
125	-	23,33 a	48,13a b	69,22a b	90,17 a	92,70416a	128,03b	157,12 b	216,96b	279,17a
150	-	24,85 a	53,04a	76,06a	104,2 9a	98,37501a	168,07a	192,90 a	253,17a	288,58a

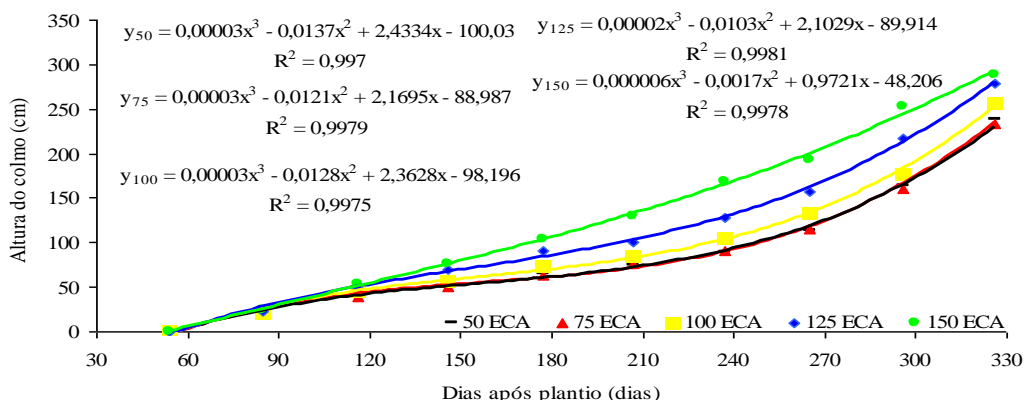
*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Aos 328 DAP a lâmina de irrigação referente a 75 % da ECA proporcionou um comprimento de colmo de aproximadamente 232,91 cm, valor próximo ao máximo observado por Dantas Neto *et al* (2006) de 229,67 cm, obtido com lâmina de irrigação de 1.164 mm, com turno de rega de 12 dias e adubação nitrogenada de 305 kg ha⁻¹, distribuídos em quatro aplicações sendo uma de fundação e três de cobertura. Desta forma, infere-se que os bons resultados observados, no presente trabalho para esta variável, deve-se provavelmente ao manejo da irrigação, com turno de rega de 2 dias e da prática da fertirrigação.

Houve incremento de aproximadamente 17,7% no comprimento do colmo com o aumento da lâmina de 50 % da ECA para 150 % da ECA. Corroborando com Dantas Neto *et al* (2006), ao observarem incrementos de 18,8% sob adubação e 305 kg de N ha⁻¹, com aumento da lâmina de irrigação de 807 mm para 1.164 mm. Quanto mais severo for déficit hídrico, maiores serão as perdas de produção. Gonçalves (2010) constatou que a cana-de-açúcar quando submetida ao déficit hídrico severo obteve uma redução média 35,9% em relação à altura do colmo.

O modelo que melhor se ajustou aos dados de altura do colmo para todos os tratamentos de lâminas de irrigação em função do tempo (DAP) foi o polinomial de terceiro grau (Figura 6). A partir dos 85 DAP (julho de 2010) observa-se a diferenciação entre o comprimento de colmo para cada tratamento com a evolução do tempo de plantio, sendo as respostas mais expressivas aos 265 DAP (janeiro) a partir de onde foi observada uma diminuição desta diferença. A provável explicação para este fenômeno ser as altas precipitações pluviométricas entre os meses de janeiro a março de 2011.

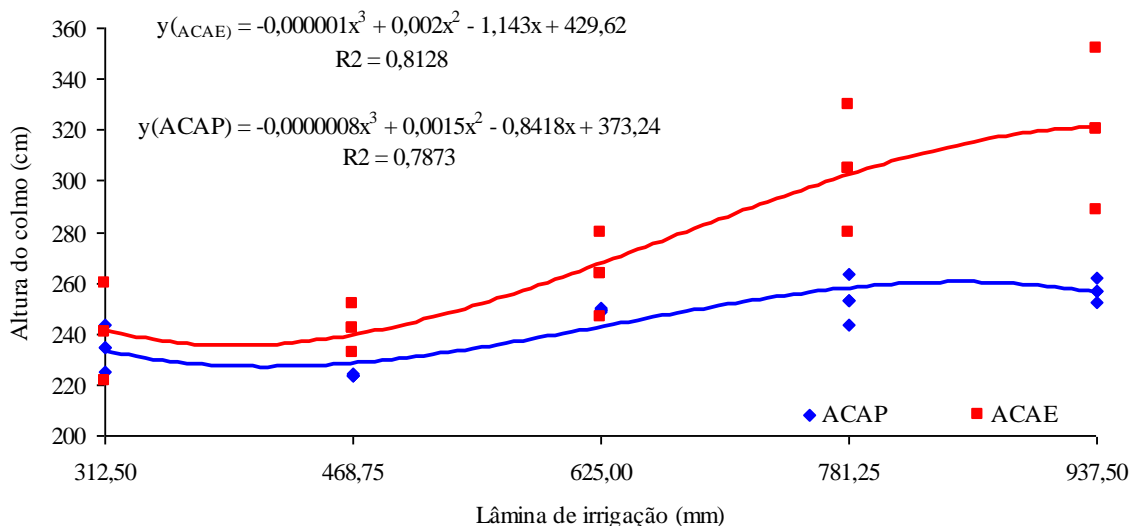
Figura 6 - Comprimento do colmo da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) nas cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio em Aquiraz, CE, 2010.



De acordo com a análise de regressão, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de altura do colmo em função das lâminas de irrigação, para os dois tipos de água foi o polinomial de terceiro grau (Figura 7). Assim como observado para altura das plantas, a altura dos colmos da cana-de-açúcar irrigada com efluente foi sempre superior a irrigada com água de poço freático. Esta superioridade aumentou com o incremento da disponibilidade hídrica, o que pode ser justificado provavelmente pelo aumento da disponibilidade dos nutrientes presentes na água de reuso. Corroborando com Nobre *et al.* (2010), ao afirmarem que a água de reuso além do suprimento hídrico, favorece como aporte de nutrientes. Dentre os nutrientes presentes nos esgotos domésticos e que pode favorecer o desenvolvimento da planta estão os macronutrientes, (N, P e K) e os micronutrientes, como As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn (GUIDOLIN, 2000). A este respeito, Deon (2010) relata que a irrigação com esgoto doméstico tratado pode fornecer até 163 kg ha⁻¹ de N, 14 kg ha⁻¹ de P, 145 kg ha⁻¹ de K, 80 kg ha⁻¹ de Ca, 28 kg ha⁻¹ de Mg, 207 kg ha⁻¹ de S, 0,45 kg ha⁻¹ de B, 0,07 kg ha⁻¹ de Cu, 0,25 kg ha⁻¹ de Fe e 0,18 kg ha⁻¹ de Mn, relevando as vantagens agrônomicas e ambientais que podem ser alcançadas com o uso do esgoto doméstico na irrigação.

O aumento da disponibilidade hídrica, nos dois tipos de água de irrigação proporcionou incrementos da altura do colmo, sendo que os maiores valores alcançados (243,21 e 291,89 cm) foram estimados para a cana-de-açúcar irrigada com água de poço e efluente, respectivamente, que por sua vez foram obtidos com a máxima lâmina de irrigação (937,6 mm) (Figura 7). Estes resultados corroboram com Marciel *et al.* (2002), que trabalhando com cana-soca, em solo de cerrado, no município de Pompeu, MG, verificaram um comprimento médio do colmo de 102,2 cm sem irrigação e 253,7 cm, com o uso da irrigação, onde evidencia-se um aumento de quase 150%. Azevedo (2002) trabalhando com regimes de irrigação em cana-de-açúcar observou que a cultura teve um aumento de 25% no comprimento do colmo, em relação ao regime sem irrigação.

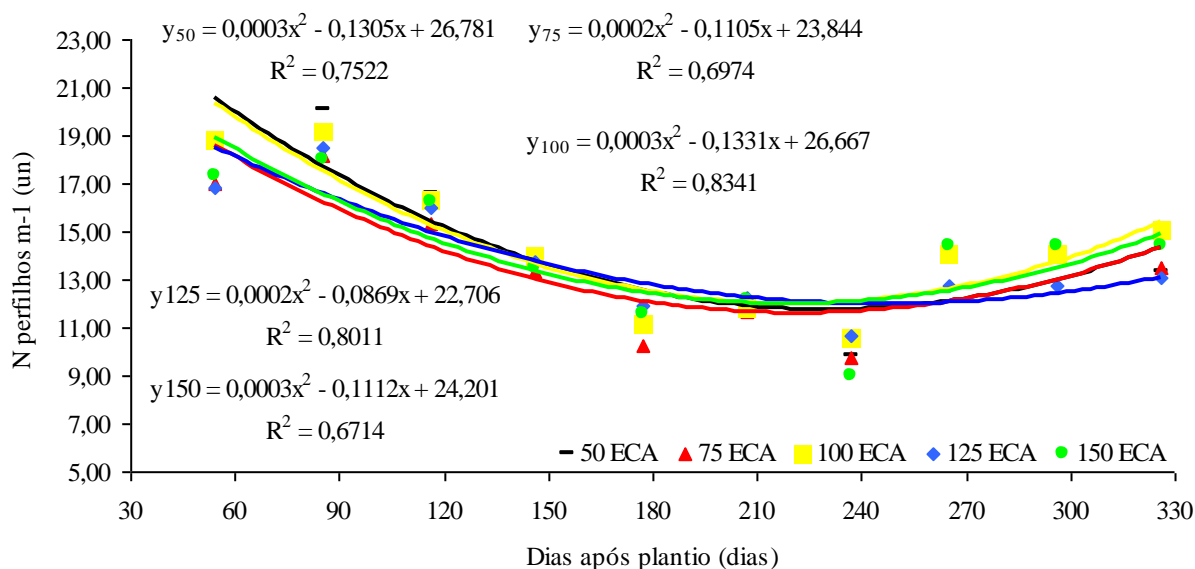
Figura 7- Comprimento do colmo da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) nas cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio em Aquiraz, CE, 2010.



Com exceção da avaliação realizada aos 238 DAP, não foi constatado efeito significativo ($p < 0,05$) do tipo de água de irrigação, da lâmina de irrigação e nem tão pouco da interação entre tipos de água x lâmina de irrigação sobre a variável número de plantas por metro linear. O que é condizente com Dantas Neto *et al.* (2006), que também não observaram efeito significativo do número de plantas por metro linear em função do favorecimento hídrico.

Dos resultados evidencia-se que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados do número de plantas por metro linear em função do tempo (DAP) foi o quadrático, para todos os tratamentos de lâminas de irrigação (Figura 8). A diminuição do número de plantas pode estar diretamente relacionada à competitividade, com o avanço do desenvolvimento vegetativo. Provavelmente, devido também ao próprio tipo de sistema de irrigação empregado neste experimento, que foi o localizado (pontual), as plantas mais próximas do gotejador pode ter se beneficiado com uma maior disponibilidade de água e de nutrientes. Desta forma, as plantas que se desenvolveram mais rapidamente sombrearam as menos desenvolvidas, provocando assim a senescência das mesmas. Tal comportamento, corrobora com Oliveira *et al.* (2004), que avaliando o crescimento e o desenvolvimento de três cultivares da cana-de-açúcar no estado do Paraná, constataram que depois do sexto mês após o plantio, se iniciou uma acentuada redução no número de perfilhos, decorrente da competição, por luz, área, água e nutrientes, refletindo, assim, na diminuição e paralisação do processo de propagação de plantas, além da morte dos perfilhos mais jovens. Há este respeito, Oliveira *et al.* (2010) constatou uma redução de aproximadamente 50% do número de perfilhos também em função do sombreamento. É típico da cultura um intenso perfilhamento no início do desenvolvimento, registrando em seguida o abortamento de parte dos perfilhos (Simões *et al.*, 2005).

Figura 8- Número de colmo por planta de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) nas cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio em Aquiraz, CE, 2010.



O valor médio de plantas por metro linear aos 328 DAP foi de aproximadamente 13,77 plantas m⁻¹, o que resulta em um total de 91.826,7 colmos ha⁻¹. Para Taupier & Rodrigues (1999) as máximas produções em cana-de-açúcar são obtidas com uma densidade populacional de 90.000 colmos ha⁻¹. Já o rendimento de plantas por metro linear médio, obtido aos 328 dias no presente trabalho foi superior aos estimados por Oliveira et. al. (2005) que foram de 7,44; 9,02 e 8,64 plantas m⁻¹ para as variedades RB 72454, RB 855113 e RB 855536, respectivamente, aos 328 DAP. Já Dalri *et al.* (2008), trabalhando com o genótipo RB 72454 observaram um número médio de plantas por metro linear, bem superior ao observado no presente trabalho, com valores médios de 26,12 plantas m⁻¹.

4 CONCLUSÕES

A irrigação com água de esgoto doméstico tratado proporcionou os maiores resultados de diâmetro do colmo, altura das plantas e altura dos colmos.

Há um intenso crescimento do diâmetro do colmo entre os 54 e os 85 DAP. Já nas variáveis: altura das plantas e dos colmos, este intenso crescimento ocorre entre os 270 e os 328 DAP.

O aumento da disponibilidade hídrica favorece o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar. As maiores alturas de plantas e de colmos são obtidas com as lâminas de irrigação de irrigação equivalentes à 150% da ECA (937,5 mm).

A água de esgoto doméstico tratado pode ser utilizada para irrigação da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, H. M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba.** 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

- BERNARDI, C. C. **Reúso de água para agricultura**. 2003. 625 f. Monografia (Especialização Lato Sensu, com área de concentração em Planejamento Estratégico) – ISEA/FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, BRASÍLIA, 2003.
- CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará–disponívelem:<<http://www.cagece.com.br/pesquisa-escolar/esgoto>>. Acesso em: 01 jul. 2011.
- COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. de. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolo, variedades RB 8354 e SP813259. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**. Piracicaba, SP, v. 24, n. 5, p. 32-36, mai. 2006.
- COELHO, M.B.; BARBOSA, M. H. P.; MARCIEL, M. L. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 591-598.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.;GRACIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação de gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, SP, v.13, n.1, p. 1-11, jan. 2008.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. da C.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, H. M. de; zevedo, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.283–288, jan. 2006.
- DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências – Solo e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2010.
- DOORENBOS, J; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. (Riego e Drenaje)**. Roma: FAO, 1979, 212p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).
- FAO- Organizações das Nações Unidas para Agricultura e alimentação disponível em: <<http://www.rlc.fao.org/pr/prioridades/recursos/>>. Acesso em: 04 jul. 2011.
- GONÇALVES, F. M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2010.
- GUIDOLIN, J.C. **Reuso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, 2010. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/17.pdf>> Acesso em: 22 mar. 2011.
- MARCIEL, M. L. *et al.* Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. [sem paginação].

MAULE, R. F.; MAZZA, A. J.; MARTHAR JÚNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.58, n.2, p.295-301, abr. 2001.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O. de; NASCIMENTO, E.C.S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n.7, p.747 – 754, mar. 2010.

OLIVEIRA, E.C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n.9, p. 951-960, mar. 2010.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, R. A. de; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. da. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Curitiba, PR, v.6, n.1-2, p.85-89, mai. 2005.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; Zufellato-Ribas, K. C.; Koehler, H. S.; Silva, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, PR, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, mai. 2004.

OLIVÉRIO, J. L. **Brazilian sugar cane sector – evolution, trends, sustainability**. São Paulo, 2008. 1 CD-ROM

BRASIL. Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM, orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]** Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.dialogue4s.de/_media/Brazil_National_Climate_Change_Plan.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2010.

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil**. 2005. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2005.

RODRIGUES, J. D., **Fisiologia da Cana-de-Açúcar**. Botucatu, SP: Universidade Estadual Paulista Instituto de Biociências, 1995. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/6301126/Canadeacucar-Ecofisiologia>> Acesso em 7 jun. 2011.

SILVA, C. T. S. da.; AZEVEDO, H. M. de.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M. de.; 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**. Fortaleza, CE. v.3, n.1, p.3–12, mai. 2009.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Indicadores de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP. v.62, n.1, p.23-30, jan. 2005.

TAUPIER, L. O. G.; RODRIGUES, G. G. A cana-de-açúcar. In: Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana-de-açúcar (ICIDCA). **Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, 1999, cap.2.1, p.21-27.

Recebido em 29-07-2011.

Aprovado em 12-03-2012.