



Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta¹

Eduardo A. A. Barbosa², Flavio B. Arruda³, Regina C. M Pires³,
Tonny J. A. da Silva⁴ & Emilio Sakai³

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da irrigação, a aplicação de vinhaça e fertirrigação mineral via irrigação por gotejamento enterrado nos valores biométricos na fase de maturação, produção de colmos, qualidade do caldo da cana-de-açúcar e rendimento de açúcar teórico recuperável. O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: adubação mineral sem irrigação; irrigação e fertirrigação de NPK com adubos minerais; irrigação e fertirrigação com vinhaça, suprindo o K e complementação do NP com adubos minerais, além de irrigação e fertirrigação com vinhaça, suprindo o NK e complementação do P com adubos minerais. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial. Os tratamentos irrigados promoveram alterações no número de perfilhos e índice de área foliar quando comparados com o cultivo de sequeiro, independente do manejo da fertirrigação. A fertirrigação com vinhaça suprindo o K proporcionou maior Brix e produção de colmos, quando comparada ao cultivo não irrigado. A irrigação e a fertirrigação com a vinhaça atendendo ao NK, proporcionaram maior rendimento teórico de açúcar recuperável, quando comparado com o do cultivo sem irrigação.

Palavras-chave: produção de colmos, qualidade do caldo, rendimento de açúcar, *Saccharum officinarum* L.

Sugarcane fertigated with stillage and mineral fertilizers under subsurface drip irrigation: Cycle of cane-plant

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of subsurface drip irrigation and the application of stillage and nutrients in some agronomic parameters, stem yield, technological characteristics of sugarcane and yield of theoretical recoverable sugar. The experiment was carried out in completely randomized block design with four treatments and five replications. The treatments were: mineral fertilizers without irrigation; irrigation and fertigation with NPK using mineral fertilizers; irrigation and fertigation with stillage supplying the K and complementation of N and P with mineral fertilizers; and irrigation and fertigation with stillage supplying the NK and complementation of P with mineral fertilizer. The system of irrigation adopted was the subsurface drip irrigation. The irrigated treatments showed higher number of tillers and leaf area index, when compared to rainfed cultivation. The fertigation with stillage supplying the K promoted higher Brix and stem yield when compared to non-irrigated cultivation. The irrigation and fertigation with stillage supplying the NK promoted higher yield of theoretical recoverable sugar, when compared the cultivation without irrigation.

Key words: stem yield, juice quality, yield of sugar, *Saccharum officinarum* L.

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, IAC

² FEAGRI/UNICAMP, Av. Candido Rondon, 501, CEP 13083-875, Campinas, SP. Fone: (19) 35211029. E-mail: eduardo.agnellos@gmail.com

³ IAC/APTA/SAA, Av. Theodureto de A. Camargo, 1500, C.P. 28, CEP 13001-970, Campinas, SP. Fone: (19) 32021701. E-mail: farruda@iac.sp.gov.br; rcmpires@iac.sp.gov.br; emilio@iac.br

⁴ ICAT/UFMT. Rodovia MT-270, Km 06, Sagrada Família, CEP 78735-910, Rondonópolis, MT. Fone: (66) 3410-4104. E-mail: tonny.silva@pq.cnpq.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, visto que o complexo da cana-de-açúcar representa a segunda maior fonte de oferta de energia do País (18%), superada apenas pelo petróleo e seus derivados (37,9%) (EPE, 2010). O aumento na produtividade de cana-de-açúcar verificado nos últimos anos se deve, entre outros fatores, às melhorias no uso das tecnologias agrícola e à incorporação de novas áreas. A incorporação de novas áreas promove o plantio de cana-de-açúcar em áreas antes consideradas marginais, sobremaneira por deficiência hídrica (Manzatto et al., 2009), ressaltando-se que as principais consequências do déficit hídrico no solo, no cultivo da cana-de-açúcar são a redução no número e o peso de colmos (Hossain et al., 2009).

A adoção da irrigação no cultivo da cana-de-açúcar proporciona melhorias no ambiente de produção (Carr & Knox, 2011), resultando em aumentos na produção de colmos e de açúcar (Soares et al., 2004; Dalri & Cruz, 2008). Por outro lado, a agricultura irrigada é consumidora de grandes quantidades de água; segundo dados da ANA (2011) a agricultura brasileira consome aproximadamente 69% de toda a água utilizada no País; desta forma, a busca por métodos de irrigação mais eficientes no uso da água se faz imprescindível para a obtenção de ambientes produtivos mais sustentáveis.

Uma técnica de irrigação que promove o uso mais eficiente da água é a irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS). Lamm et al. (1995) verificaram, avaliando o volume de água consumido na irrigação da cultura do milho pela técnica da IGS, que o consumo de água foi reduzido em 25%, quando comparado com o da irrigação por gotejamento superficial. A IGS se caracteriza pela aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura (Lamm & Trooien, 2003; Lamm & Camp, 2007) favorecendo a eficiência do uso da água.

Devido à alta uniformidade de aplicação da água proporcionada pela IGS (Gil et al., 2008) e à aplicação da água diretamente na zona radicular das culturas, o uso dos fertilizantes via fertirrigação é favorecido na IGS (Lamm & Trooien, 2003). O uso da fertirrigação possui, de modo geral, a característica de melhorar a eficiência no uso dos nutrientes, haja vista serem aplicados de maneira fracionada, conforme a marcha de absorção de nutrientes da cultura (Roberts, 2008). Outro aspecto positivo da IGS é o uso seguro, para o agricultor, das águas residuárias na irrigação (Lamm & Camp, 2007), como, por exemplo, a aplicação da vinhaça na cana-de-açúcar.

Quando utilizada via fertirrigação na nutrição complementar à fertilização mineral no cultivo da cana-de-açúcar, a vinhaça proporciona aumentos na produção de colmo resultando, em alguns casos, em aumento no rendimento de açúcar total recuperável (Simabuco & Nascimento Filho, 1994; Oliveira et al., 2009).

Oliveira et al. (2009) verificaram, aplicando diferentes doses de vinhaça provenientes de alambique, com e sem complementação de nitrogênio, que a aplicação de 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça complementada com 60 kg ha⁻¹ de N, proporcionou maior rendimento de colmo (95,08 Mg ha⁻¹) quando comparado com o rendimento dos tratamentos sem aplicação de vinhaça (67,10 Mg ha⁻¹). Esses autores, porém, não observaram efeito

deletério, como redução no teor de sacarose e da aplicação da vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Có Júnior et al. (2008), avaliando o efeito residual da aplicação de vinhaça no teor de sacarose do caldo no cultivo da cana-de-açúcar, não observaram efeito residual da aplicação da vinhaça nos teores de sólidos solúveis do caldo (Brix) e sacarose aparente do caldo (Pol). Tasso Júnior et al. (2007) verificaram efeitos da aplicação da vinhaça mais ureia nos valores de Pol no ciclo da cana-planta e nos valores de Brix, no ciclo da primeira cana-soca.

O trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação da vinhaça e da fertirrigação mineral via irrigação por gotejamento subsuperficial nas características biométricas na fase de maturação, na produção de colmos, na qualidade tecnológica e no rendimento de açúcar teórico recuperável da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Usina Colorado, em Guaíra, SP. As coordenadas geográficas da área experimental são: latitude 20° 16' S, longitude 48° 10' W e altitude 594 m. O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Aw, classificado como tropical de inverno seco e temperatura do mês mais frio igual ou superior a 18 °C (Rolim et al., 2007).

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no dia 16 de maio de 2005 com a variedade RB855536. O plantio foi realizado manualmente, na profundidade de 0,20 m em relação à superfície do solo, com seis toletes contendo três gemas cada um, por metro linear. O espaçamento entre as linhas de plantio de cana-de-açúcar foi de 1,5 m.

Amostras indeformadas e deformadas do solo nas camadas de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m foram coletadas para caracterização física e granulométrica do solo, respectivamente, cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Análise física e granulométrica do solo da área experimental

| Camada m | Densidade solo kg m ⁻³ | Porosidade % | Areia Silte Argila | | |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|-----|-----|
| | | | g kg ⁻¹ | | |
| 0 – 0,25 | 1,06 | 62,1 | 187 | 290 | 523 |
| 0,25 – 0,50 | 1,19 | 59,0 | 171 | 242 | 587 |
| 0,50 – 0,75 | 1,15 | 61,7 | 169 | 226 | 605 |

Amostras deformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, para a caracterização química do solo, as quais se encontram na Tabela 2.

O experimento foi implantado em blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições: T1NI – Testemunha não irrigada, com adubação mineral com NPK no sulco de plantio; T2I – Tratamento irrigado via gotejamento subsuperficial e aplicação dos nutrientes NPK via fertirrigação; T3Iv – Tratamento irrigado via gotejamento subsuperficial e aplicação dos nutrientes NPK via fertirrigação, sendo que neste tratamento todo o K foi proveniente da vinhaça e o N e P foram complementados com fertilizantes minerais e T4IV – tratamento irrigado via gotejamento subsuperficial e aplicação dos

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental

| Camada m | pH H ₂ O | M.O. % | P mg dm ⁻³ | H+Al | K | Ca | Mg | CTC | Soma de base | V % |
|-------------|---------------------|-----------|--------------------------|------|-----|-----|-----|-------|--------------|--------|
| | | | | | | | | | | |
| 0 - 0,20 | 6,2 | 5,0 | 51 | 3,4 | 0,8 | 6,3 | 1,1 | 11,60 | 8,2 | 70,7 |
| 0,20 - 0,40 | 6,1 | 4,0 | 19 | 3,6 | 0,7 | 5,8 | 1,1 | 11,20 | 7,6 | 67,9 |
| 0,40 - 0,60 | 6,5 | 1,9 | 9 | 2,4 | 0,7 | 3,0 | 0,8 | 6,90 | 4,6 | 65,5 |

nutrientes NPK via fertirrigação, sendo que neste tratamento todo o N e K foram provenientes da vinhaça e o P foi complementado com fertilizantes minerais. A parcela consistiu de 10 linhas de cultivo com 15 m de comprimento. Foram consideradas úteis as cinco linhas centrais e as demais, bordadura.

As adubações foram realizadas de acordo com a recomendação de Rajj et al. (1996) a partir dos resultados da análise química do solo (Tabela 1). A adubação de base para os tratamentos foi de 90 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O. No T1NI os nutrientes foram aplicados manualmente no plantio da cana-de-açúcar, na linha de plantio. Nos tratamentos fertirrigados (T2I, T3Iv e T4IV) a aplicação dos nutrientes NPK foi realizada uma vez por semana e iniciada logo após o plantio, com encerramento em março de 2006. A quantidade de nutrientes aplicada a cada semana seguiu a marcha de absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar (Haag et al., 1987) As fontes de nutrientes utilizadas na fertirrigação mineral foram: nitrato de amônio, MAP purificado e cloreto de potássio.

A aplicação da vinhaça foi parcelada de agosto a novembro de 2005, conforme a disponibilidade do resíduo. Para consideração do aporte nutricional da vinhaça foram realizadas 58 amostras da vinhaça, no ano de 200, constando-se que os valores obtidos ao longo do ano estavam condizentes com os valores relatados por Glória & Orlando Filho (1984), que fizeram um resumo da composição média da vinhaça para uso na fertirrigação, conforme reproduzido na Tabela 3. Todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de nutrientes, exceto o T4IV, que recebeu uma alta dose de potássio devido à sua alta dosagem de vinhaça (200 m³ ha⁻¹).

Tabela 3. Valor do pH e teores de matéria orgânica (MO), N, P₂O₅ e K₂O da vinhaça para cálculo da fertirrigação

| Elementos | pH | MO | kg m ⁻³ | | |
|--------------|-----|------|--------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Concentração | 4,1 | 32,6 | 0,46 | 0,24 | 3,06 |

Adaptado de Glória & Orlando Filho (1984)

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial e o espaçamento entre as linhas de irrigação seguiu o espaçamento de plantio, já que foi utilizada uma linha de tubos gotejadores por linha de plantio. As linhas de tubos gotejadores foram instaladas a 0,30 m de profundidade. A vazão e a distância entre emissores do tubogotejador foram, respectivamente, de 1,3 L h⁻¹ e 0,40 m, com uso do emissor Tiran® (Netafim). A água utilizada foi captada de um reservatório superficial localizado a 15 m do cabeçal de controle.

A filtragem da água e da vinhaça foi realizada por dois filtros de disco e a retrolavagem dos filtros foi realizada a cada

irrigação; a limpeza das linhas laterais foi realizada com a aplicação de cloro e ácido clorídrico, de acordo com informações confidenciais da empresa que forneceu o sistema de irrigação.

A lâmina de irrigação aplicada foi estimada considerando-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) e o intervalo entre irrigações. A estimativa da ET_c foi realizada a partir dos valores da evapotranspiração de referência (ET_o) e dos valores de K_c da cana-de-açúcar. A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizada pelo método Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Os elementos climáticos foram obtidos de uma Estação Meteorológica Automática, situada a 800 m da área experimental.

As irrigações foram realizadas três vezes por semana e suspensas quando da ocorrência de chuvas e 75 dias antes da colheita, maio de 2006, para favorecimento da maturação. Ressalta-se que após o plantio o experimento foi irrigado semanalmente, durante um mês, por aspersão convencional, até o pegamento das plantas para se obter uma brotação uniforme em todos os tratamentos; após o pegamento iniciou-se a irrigação por gotejamento enterrado.

Para acompanhamento do desenvolvimento das plantas realizou-se a contagem dos perfilhos, aos 257 dias após o plantio (DAP), nas cinco linhas centrais. As medições da área foliar e da massa fresca dos colmos foram realizadas aos 330 DAP. A massa fresca do colmo foi determinada coletando-se 20 perfilhos de cada parcela retirados nas 2.^a e 8.^a linhas das parcelas, de forma a manter as cinco linhas centrais intactas. Para medição da área foliar (AF) foram retiradas as folhas de 10 perfilhos por parcela, avaliadas com medidor de área foliar de mesa Licor LI-310; após obtenção da área foliar de cada perfilho e número de perfilhos por metro linear, determinou o índice de área (IAF), a partir da Eq. 1.

$$IAF = \frac{AF \times NP}{E} \quad (1)$$

em que:

IAF- índice de área foliar, m² m⁻²

AF - área foliar do perfilho, m²

NP - número de perfilhos por metro linear, m⁻¹

E - espaçamento entre linha, m

A colheita foi realizada manualmente, no dia 16 de agosto de 2006, após a queimada da cana. Foram pesados os colmos das cinco linhas centrais de cada parcela com balança de carga, com capacidade de 5000 kg.

Três análises tecnológicas foram realizadas aos 262 dias após o plantio (DAP), aos 346 DAP e na colheita dos colmos. Para a análise tecnológica coletaram-se cinco colmos em cada parcela, os quais foram encaminhados ao Laboratório de Análises da Usina Colorado. A metodologia adotada para a

análise tecnológica seguiu as recomendações do CONSECANA (2006); desta forma a determinação do teor de sólidos solúveis do caldo (Brix) foi realizada por refratômetro digital, com correção automática da temperatura, sendo o valor final expresso a 20 °C.

O teor de sacarose aparente do caldo (Pol) foi determinado por meio da Eq. 2.

$$\text{Pol} = \text{Lpb} \times (0,2605 - 0,0009882 \times \text{Brix}) \quad (2)$$

em que:

Lpb- leitura sacarimétrica equivalente à de subacetato de chumbo

Brix - teor de sólidos solúveis do caldo

O teor de fibra da cana foi determinado por meio da Eq. 3.

$$\text{Fibra} = (0,08 \times \text{PBU}) + 0,876 \quad (3)$$

em que:

Fibra - teor de fibra da cana-de-açúcar

PBU - peso do bagaço úmido da prensa, g

A pureza do caldo foi determinado por meio da Eq. 4.

$$\text{Pureza} = 100 \times \frac{\text{Pol}}{\text{Brix}} \quad (4)$$

em que:

Pureza - pureza do caldo

Pol - teor de sacarose aparente do caldo

Brix - teor de sólidos solúveis do caldo

O teor de açúcares redutores do caldo (AR) foi determinado por meio da Eq. 5.

$$\text{AR} = 3,641 - 0,0343 \times \text{pureza} \quad (5)$$

em que:

AR - teor de açúcares redutores

pureza - pureza do caldo

O açúcar total recuperável (ATR) foi determinado por meio da Eq. 6.

$$\text{ATR} = 9,5263 \times \text{PC} + 9,05 \times \text{ARC} \quad (6)$$

em que:

ATR - açúcar total recuperável

PC - pol da cana

ARC - açúcar redutor da cana

A partir dos valores de ATR e da produção de colmos (P) calculou-se o Rendimento de Açúcar Teórico Recuperável por hectare (RTR). O RTR foi obtido de acordo com a Eq. 7.

$$\text{RTR} = \frac{\text{ATR} \times \text{PC}}{1000} \quad (7)$$

em que:

RTR - rendimento de açúcar teórico recuperável, Mg ha⁻¹

ATR - açúcar total recuperável, kg Mg⁻¹

PC - produtividade de colmos, Mg ha⁻¹

1000 - fator de conversão de kg para Mg

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan (p < 0,05). Para essas análises utilizou-se o programa estatístico Assistat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da lâmina de água precipitada e evapotranspirada pela cultura da cana-de-açúcar (ETc) e a temperatura média do ar durante a condução do experimento, podem ser observados na Figura 1.

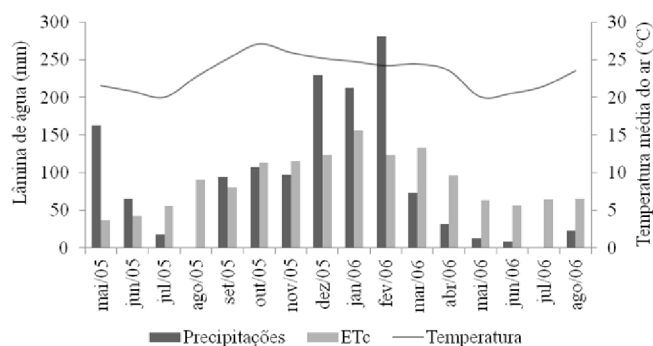


Figura 1. Valores da lâmina de água precipitada e evapotranspirada pela cultura da cana-de-açúcar (ETc) (mm) e temperatura média do ar (°C) durante o ciclo de cultivo da cana-planta

A precipitação total durante o ciclo de cultivo foi de aproximadamente 1418 mm e a ETc total foi de aproximadamente 1415 mm. Após o pegamento da cultura no campo, meses de maio e junho de 2005, verifica-se que a ETc foi superior à precipitação nos meses de julho e agosto de 2005 (Figura 1), época em que as plantas se encontravam na fase de intenso perfilhamento (Almeida et al., 2008). Segundo Bezuidenhout et al. (2003) o déficit hídrico nesta fase prejudica o desenvolvimento dos perfilhos acarretando em redução no número de colmos produtivos no final do ciclo.

Na fase de senescência dos perfilhos e intenso alongamento do colmo (Almeida et al., 2008) que compreende basicamente os meses de outubro de 2005 a fevereiro de 2006, verifica-se que a precipitação e a ETc apresentaram valores próximos aos dos meses de outubro e novembro e a partir de dezembro de 2005 a fevereiro de 2006 ocorreu elevada precipitação, com valores mensais de chuva acima de 200 mm. A partir do mês de março até a colheita em agosto de 2006, houve redução da precipitação sendo que, neste período, a ETc foi superior às chuvas (Figura 1), favorecendo o processo de maturação da cana-de-açúcar.

A aplicação de água e de fertilizantes minerais e vinhaça via IGS, proporcionou efeitos significativos no número de perfilho aos 257 DAP quando comparados com os do tratamento sem

irrigação, conforme os resultados apresentados na Tabela 4. Os tratamentos T2I, T3Iv e T4IV apresentaram aumento médio de 1,5; 1,8 e 1,8 perfilhos m^{-1} respectivamente, a mais que o tratamento sem irrigação (T1NI).

Tabela 4. Médias do número de perfilhos (NP) perfilhos m^{-1} , aos 257 dias após o plantio (DAP), massa fresca do colmo (MFC) $kg\ colmo^{-1}$, área foliar do perfilho (AFP) $m^2\ perfilho^{-1}$ e índice de área foliar (IAF) em $m^2\ m^{-2}$, aos 330 DAP

| Tratamentos | NP | MFC | AFP | IAF |
|-------------|--------|--------------------|---------|---------|
| T1NI | 15,8 a | 2,11 | 0,33 a | 3,51 a |
| T2I | 17,3 b | 2,10 | 0,36 ab | 4,15 b |
| T3Iv | 17,6 b | 2,04 | 0,36 ab | 4,51 bc |
| T4IV | 17,6 b | 1,98 | 0,40 b | 4,75 c |
| Teste F | 7,12* | 0,31 ^{ns} | 3,13* | 13,30* |
| C.V. (%) | 4,31 | 8,53 | 10,44 | 7,79 |

* significativo pelo teste de Duncan a 0,05 de probabilidade; ^{ns}Não significativo. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si

A massa fresca por colmo (MFC) não foi afetada pelos tratamentos não havendo, então, diferenças significativas entre os valores médios. Com relação à área foliar do perfilho (AFP), a aplicação da alta dosagem ($200\ m^3\ ha^{-1}$) de vinhaça (T4IV) proporcionou maior desenvolvimento da AFP ($0,40\ m^2\ perfilho^{-1}$) quando comparado com o do tratamento sem irrigação ($0,33\ m^2\ perfilho^{-1}$) aos 330 DAP (Tabela 4), assim, o suprimento adequado de água para a cultura e o elevado suprimento de potássio através da vinhaça aplicada no T4IV, podem ter favorecidos o desenvolvimento da área foliar.

A alta área foliar do perfilho observada nas plantas cultivadas no tratamento T4IV ($0,4\ m^2\ perfilho^{-1}$), refletiu em um alto índice de área foliar (IAF) ($4,75\ m^2\ m^{-2}$) da cana-de-açúcar desses tratamentos, diferindo significativamente ($p > 0,05$) do T1NI e do T2I. O IAF obtido pelo T3Iv não diferiu dos valores médios obtidos nos tratamentos T4IV e T2I mas o IAF do T2I diferiu significativamente do T1NI, conforme a Tabela 4. Os tratamentos T2I, T3Iv e T4IV apresentaram maiores valores de IAF em relação ao tratamento em sequeiro (T1NI), sendo esses na ordem de 18,2; 28,5 e 35,3%, respectivamente. Segundo Machado et al. (1982) o IAF próximo de $4\ m^2\ m^{-2}$ seria suficiente para a planta interceptar 95% da radiação solar incidente. As plantas submetidas a condição de sequeiro (T1NI) obtiveram o valor médio de IAF abaixo de $4\ m^2\ m^{-2}$ ($3,51\ m^2\ m^{-2}$) acarretando, sem dúvida, reduções na assimilação da radiação incidente. Os resultados da primeira análise tecnológica aos 262 DAP são apresentados

Tabela 6. Produção de colmos (PC, $Mg\ ha^{-1}$), teor de sólidos solúveis do caldo (Brix, °Brix), teor de fibra da cana-de-açúcar (FC, %), pureza do caldo (Prz, %), teor de sacarose (Pol, %), açúcares redutores (AR, %) e açúcar total recuperável (ATR, $kg\ Mg^{-1}$) e rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR, $Mg\ ha^{-1}$), na colheita do ciclo da cana planta

| Tratamento | PC | Brix | FC | Pureza | Pol | AR | ATR | RTR |
|------------|----------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| T1NI | 214,6 a | 19,6 b | 9,51 | 83,1 | 16,3 | 0,78 | 143,4 | 30,8 a |
| T2I | 225,2 ab | 20,8 a | 9,83 | 80,3 | 16,7 | 0,88 | 146,8 | 33,0 ab |
| T3Iv | 231,2 b | 19,9 ab | 9,70 | 82,9 | 16,5 | 0,80 | 144,4 | 33,4 ab |
| T4IV | 223,6 ab | 20,9 a | 9,81 | 83,7 | 17,5 | 0,77 | 152,8 | 34,1 b |
| Teste F | 2,91* | 4,51* | 0,29 ^{ns} | 0,52 ^{ns} | 1,19 ^{ns} | 0,51 ^{ns} | 1,60 ^{ns} | 3,16* |
| C.V. (%) | 4,46 | 3,31 | 6,27 | 5,76 | 6,66 | 20,56 | 5,05 | 6,68 |

* significativo pelo teste de Duncan a 0,05 de probabilidade; ^{ns} Não significativo. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si

Tabela 5. Teor de sólidos solúveis do caldo (Brix, °Brix), teor de fibra da cana-de-açúcar (FC, %), pureza do caldo (Prz, %), teor de sacarose (Pol, %), açúcares redutores (AR, %) e açúcar total recuperável (ATR, $kg\ Mg^{-1}$) aos 262 (A) e 346 (B) dias após o plantio, no ciclo da cana planta

| Tratamentos | Brix | FC | Prz | Pol | AR | ATR |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| A. 262 dias após o plantio | | | | | | |
| T1NI | 13,7 | 9,0 | 68,6 | 9,5 | 1,15 | 88,4 |
| T2I | 14,5 | 9,4 | 75,4 | 11,0 | 0,94 | 98,1 |
| T3Iv | 14,1 | 9,1 | 72,9 | 10,3 | 1,02 | 93,4 |
| T4IV | 14,3 | 9,1 | 69,6 | 9,9 | 1,12 | 91,2 |
| Teste de F | 0,32 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 1,12 ^{ns} | 0,89 ^{ns} | 1,09 ^{ns} | 0,82 ^{ns} |
| C.V. | 8,69 | 6,57 | 9,18 | 14,63 | 19,81 | 10,84 |
| B. 346 dias após o plantio | | | | | | |
| T1NI | 17,4 | 10,1 | 79,3 | 13,9 | 0,80 | 119,9 |
| T2I | 18,2 | 10,1 | 79,6 | 14,5 | 0,80 | 124,4 |
| T3Iv | 17,1 | 9,9 | 74,5 | 12,8 | 0,95 | 112,2 |
| T4IV | 16,7 | 9,5 | 78,8 | 13,2 | 0,83 | 115,4 |
| Teste F | 2,35 ^{ns} | 0,72 ^{ns} | 0,97 ^{ns} | 1,29 ^{ns} | 0,95 ^{ns} | 1,44 ^{ns} |
| C.V. | 5,18 | 7,22 | 6,94 | 10,98 | 19,98 | 8,36 |

* Significativo pelo teste de Duncan a 0,05 de probabilidade; ^{ns}Não significativo. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si

na Tabela 5A. Não se evidenciaram diferenças significativas entre os tratamentos na primeira avaliação, realizada em fevereiro de 2006.

Os resultados da segunda análise tecnológica, realizada aos 346 DAP, apresentados na Tabela 5B, revelaram ausência de efeito dos fatores de variação sobre as variáveis analisadas. A tendência verificada no T2I, na primeira análise (Tabela 5) continuou aos 346 DAP (Tabela 5B), com valores aceitáveis de Pol e Brix para a colheita, conforme CONSECANA (2006).

Na colheita foram verificadas alterações não significativas ($p < 0,05$) na produção de colmos, no teor de sólidos solúveis (°Brix) e no rendimento teórico de açúcar recuperável, conforme a Tabela 6. A produção de colmos foi alterada significativamente ($p < 0,05$) pelo uso da irrigação e fertirrigação por gotejamento enterrado, com a dose de vinhaça atendendo às necessidades de K e complementação do N e P (T3Iv); este tratamento apresentou a maior produção de colmos quando comparada com a do cultivo em sequeiro (T1NI) e a produção média de colmos obtida pelo T3Iv foi superior em $16,6\ Mg\ ha^{-1}$ à obtida no T1NI (Tabela 6).

Aumento na produção de colmo pelo uso da irrigação vem sendo relatado por diversos trabalhos ao longo dos anos, tais como Soares et al. (2004) e Dalri & Cruz (2008). Vários desses trabalhos ressaltam a importância do uso da irrigação na cana-

de-açúcar para a promoção do crescimento vertical da produção, reduzindo a expansão horizontal.

O T2I e T4IV apresentaram os maiores valores de Brix, diferindo significativamente do T1NI ($p < 0,05$). O uso da irrigação proporcionou melhor desenvolvimento das plantas irrigadas, refletindo em maior IAF, resultando em elevação da área de produção de fotoassimilados e, em consequência, maior produção de sólidos solúveis pela cana-de-açúcar. O resultado obtido no T4IV está de acordo com aqueles obtidos por Camilotti et al. (2006) e Tasso Júnior et al. (2007), no ciclo das terceira e segunda socas, respectivamente. Ressalta-se, ainda, que o T4IV apresentou o maior IAF e, em contrapartida, também maior possibilidade para a produção de sacarose.

O teor de fibra não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6), corroborando com os resultados apresentados por Tasso Júnior et al. (2007). O teor de fibra obtido neste experimento é considerado ideal para a extração de açúcar (Gonçalves, 1987) uma vez que o índice de fibra próximo a 10% proporciona a maior extração absoluta de sacarose.

Os valores de açúcar total recuperável (ATR) entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas, conforme apresentado na Tabela 6 porém com tendência de incremento no T4IV, devido à maior produção de sacarose. A nível de significância estabelecida ($p > 0,05$), os tratamentos T4IV e T1NI apresentaram o mesmo desempenho em relação à produção de colmos e à ATR; no entanto, quando se relacionam esses dois fatores no cálculo da RTR, verifica-se superioridade do T4IV ($p < 0,05$), apresentando rendimento de açúcar teórico recuperável, da ordem de 34,1 Mg ha⁻¹. Os tratamentos T2I e T3IV não diferiram significativamente do T1NI com relação à RTR (Tabela 6).

A aplicação da vinhaça semanalmente no período de agosto a novembro, em solo argiloso, não promoveu efeitos deletérios na qualidade final da matéria prima no ciclo da cana-planta. Tal resultado está de acordo com os apresentados por Tasso Júnior et al. (2007) e Oliveira et al. (2009).

Os resultados de perfilhamento, IAF, produção de colmos, ATR e RTR, indicam bom desempenho do T4IV, evidenciando a eficiência do método de irrigação por gotejamento enterrado, para aplicação de altas doses de vinhaça no ciclo da cana-planta.

CONCLUSÕES

1. O uso da irrigação por gotejamento subsuperficial promoveu alteração no número de perfilhos e índice de área foliar, quando em comparação ao cultivo não irrigado, independentemente do manejo da fertirrigação.
2. A aplicação da vinhaça complementando a necessidade de potássio pela irrigação por gotejamento subsuperficial, favoreceu a produção de colmos em relação ao tratamento não irrigado.
3. Dentre os atributos qualitativos houve efeito dos tratamentos apenas no rendimento teórico de açúcar recuperável (RTR) com favorecimento no tratamento com aplicação de alta dosagem de vinhaça, em relação ao cultivo não irrigado.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor; à FINEP-CT-HIDRO, pelos recursos em prol do desenvolvimento do experimento no campo e à Usina Colorad, o pelas análises tecnológicas e apoio às atividades.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage. Rome: FAO. 1998, 300p.
- Almeida, A. C. S.; Souza, J. L.; Teodoro, I.; Barbosa, G. V. S.; Moura Filho, G.; Ferreira Júnior, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidade térmica. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.1441-1448, 2008.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2011. Brasília: ANA, 2011, 112p.
- Bezuidenhout, C. N.; O'Leary, G. L.; Singels, A.; Bajic, V. B. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. *Agricultural Systems*, v.76, p.589-599, 2003.
- Camilotti, F.; Andrioli, I.; Marques, M. O.; Silva, A. R.; Tasso Júnior, L. C.; Nobile, F. O. Nogueira, G. A.; Prati, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.24, p.32-35, 2006.
- Carr, M. K. V.; Knox, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugarcane (*Saccharum officinarum*): A review. *Experimental Agriculture*. v.47, p.1-25, 2011.
- Có Júnior, C.; Marques, M. O.; Tasso Júnior, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.196-203, 2008.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.
- Dalri, A. B.; Cruz, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.516-524, 2008.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional: Ano base 2009, EPE: Brasília, 2010. 276p.
- Gil, M.; Sinobas, L. R.; Juana, L.; Sanchez, R.; Losada, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: Effect on water-application uniformity. *Irrigation Science*, v.26, p.451-458, 2008.
- Glória, N.; Orlando Filho, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. *Revista Álcool & Açúcar*, v.16, p.32-39, 1984.
- Gonçalves, L. A. C. Influência da fibra e da pol da cana e da pureza do caldo no processo de fabricação de açúcar e álcool. *Brasil Açucareiro*, v.105, p.49-64, 1987.
- Haag, H. P.; Dechen, A. R.; Carmello, Q. A. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: S.B. Paranhos. Cana-de-açúcar, Cultivo e Utilização. Campinas: Fundação Cargill. v.1, p.88-162, 1987.

- Hossain, S. M. I.; Eusufzai, S. U. K.; Rahman, M. A. Effect of different irrigation level on grown and yield parameters of sugarcane. *Pakistan Journal Agriculture Research*, v.22, p.28-35, 2009.
- Lamm, F. R.; Camp, C. C. Subsurface drip irrigation. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. *Microirrigation for crop production: Design, operation, and management*. Amsterdam: Elsevier, 2007. 618p.
- Lamm, F. R.; Manges, H. L.; Stone, L. R.; Khan, A. H.; Rogers, D. H. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. *Transactions of the ASAE*, v.38, p.441-448, 1995.
- Lamm, F. R.; Trooien, T. P.; Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science*, v.22 p.195-200, 2003.
- Machado, E. C.; Pereira, A. R.; Fahl, J. I.; Arruda, J. V.; Cione, J. Índice biométrico de duas variedades de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.17, p.1323-1982, 1982.
- Manzatto, C. V.; Assad, E. D.; Bacca, J. F. M.; Zaroni, M. J.; Pereira, S. E. M. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 55p.
- Oliveira, E. L.; Andrade, L. A. B.; Faria, M. A.; Custódio, T. N. Vinhaça de alambique e nitrogênio na cana-de-açúcar, em ambiente irrigado e não irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.694-699, 2009.
- Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. *Recomendações de adubações e calagem para o estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 39p.
- Roberts, T. L. Improving nutrients use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v.32, p.177-182, 2008.
- Rolim, G. S.; Camargo, M. B. P.; Lania, D. G.; Moraes, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, v.66, p.711-720. 2007.
- Simambuco, S. M.; Nascimento Filho, V. F. Study on vinasse dynamics in soil using energy dispersive x-ray fluorescence with radioisotopic excitation. *Scientia Agricola*, v.5, p.207-215. 1994.
- Soares, R. A. B.; Oliveira, P. F. M.; Cardoso, H. R.; Vasconcelos, A. C. M.; Landell, M. G. H.; Rosenfeld, V. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhida em início de safra. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.22, p.38-41, 2004.
- Tasso Júnior, L. C.; Marques, M. O.; Franco, A.; Nogueira, G. A.; Nobile, F. O.; Camilotti, F.; Silva, A.R. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.276-283, 2007.