



Cultivo Da Cana-De-Açúcar Sob Diferentes Níveis De Reposição Hídrica, Com E Sem Adição De Nitrogênio

Cultivation of sugarcane under different levels of water replacement, with and without nitrogen addition

Willian Marques Pires^{1*}, Marconi Batista Teixeira¹, Frederico Antônio Loureiro Soares¹, Walber Alves Ribeiro² & Luiz Cesar Lopes Filho.³

¹ IFGoiano Campus Rio Verde williana.1969@gmail.com

² Universidade do Estado de São Paulo - Unesp

³ Universidade Federal de Goiás

Info

Recebido: 18/09/2018

Publicado: 14/11/2018

DOI: 10.29247/2358-260X.2018v5i3.p56-87

ISSN: 2358-260X

Palavras-Chave

gotejamento subsuperficial, fertirrigação, déficit hídrico, crescimento.

Keywords:

subsurface drip, fertirrigation, water deficit, growth.

Resumo

A cana-de-açúcar é uma cultura que, responde altamente a irrigação. No entanto, o aprimoramento das técnicas de manejo se torna necessário para atingir a máxima eficiência no uso dos recursos hídricos, visando máxima produtividade com o menor volume de água utilizado. Dessa forma, objetivou-se neste estudo avaliar os índices biométricos em diferentes fases de desenvolvimento, os índices de produtividade, a eficiência de uso da água e a fitomassa fresca da cana-de-açúcar, em diferentes níveis de reposição hídrica por sistema de gotejamento subsuperficial, com e sem aplicação de nitrogênio ao longo do cultivo. O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, GO. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Os

tratamentos consistiram em cinco níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0% de umidade do solo na capacidade de campo) combinados sem e com aplicação de fertilizante nitrogenado (0 e 100 kg ha⁻¹ de N) na forma de ureia. Foram avaliados a altura de planta, diâmetro de colmo e área foliar de três plantas situadas na área útil de cada parcela, em nove etapas mensalmente a partir dos 90 DAP (dias após plantio), correspondendo aos seguintes períodos: 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAP. Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. A irrigação por gotejamento subsuperficial forneceu condições adequadas para o crescimento da cana-de-açúcar. Os níveis de reposição hídrica contribuíram linearmente nos parâmetros de desenvolvimento e na produtividade de colmos. O déficit hídrico provocou reduções severas na fitomassa total da parte aérea das plantas. A adubação nitrogenada contribuiu no desenvolvimento das variáveis biométricas nas últimas fases de desenvolvimento da cultura e permitiu melhoria nos índices tecnológicos da cana-de-açúcar.

Abstract

Sugarcane is a culture that responds highly to irrigation. However, the improvement of management techniques becomes necessary to achieve maximum efficiency in the use of water resources, seeking maximum productivity using the lowest volume of water. Thus, this study aimed to evaluate the biometric indices in different stages of development, productivity indices, water use efficiency and dry phytomass of cane sugar, in different levels of water replacement by subsurface drip system with and without nitrogen during the cultivation. The experiment carried out in the experimental area of the Goiano Federal Institute, campus of Rio Verde GO. The experimental design comprised of randomized blocks in a 5 x 2 factorial scheme, with four replications. Treatments consisted of five levels of hydric replacement (100, 75, 50, 25 and 0% of soil moisture at field capacity) combined with and without application of nitrogen fertilizer (0 and 100 kg N ha⁻¹) in the form of urea. There was evaluated the plant height, stem diameter and leaf area of three plants located in the useful area of each plot, in nine stages monthly from 90 DAP (days after planting), corresponding to the following periods: 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 and 330 DAP. Results were submitted to analysis of variance by F test at 5% of probability. Subsurface drip irrigation provided adequate conditions for the growth of sugarcane. Levels of water replacement contributed linearly in the parameters of development and production of steams. Water stress caused severe reductions in total phytomass of aerial part of plants. Nitrogen fertilization contributed to the development of biometric variables in the latter stages of crop development and allowed improvement in technological indices of cane sugar.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é atualmente uma cultura de crescente importância econômica, considerada uma das principais commodities agrícolas em termos de produtividade (DEVOS, 2010), cultivada em regiões de clima tropical ou subtropical, utilizada principalmente para produção de açúcar e biocombustível (KAJIHARA, 2012).

A restrição hídrica é um dos mais importantes estresses ambientais na agricultura. A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial.

A cana-de-açúcar é uma cultura que responde altamente a irrigação (SINGH et al., 2007). O incremento na produtividade da cana-de-açúcar com o uso da irrigação é bastante conhecido (WIEDENFELD & ENCISO, 2008; GAVA et al., 2011). No entanto, o aprimoramento das técnicas de manejo se torna necessário para atingir a máxima eficiência no uso dos recursos hídricos, visando máxima produtividade com o menor volume de água utilizado. Segundo Gava et al. (2011), o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto o excesso do suprimento de água.

O cultivo irrigado da cana-de-açúcar proporciona melhorias no ambiente de produção (CARR & KNOX, 2011), porém para o uso eficiente da água pela cana-de-açúcar é fundamental identificar a necessidade hídrica responsável pelas máximas produções (WIEDENFELD & ENCISO, 2008).

Pesquisas em várias regiões produtoras do mundo e do Brasil, com diferentes variedades de cana-de-açúcar, têm mostrado o efeito da irrigação no aumento da produtividade, além disso, a adubação nitrogenada se destaca como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para a cana-de-açúcar, uma vez que os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDÖRFER et al., 2002). Porém, existem muitos trabalhos que mostram a importância do N na cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2013; FRANCO et al., 2011).

Dentre os métodos de irrigação utilizados para suprir a necessidade hídrica da cana-de-açúcar, destaca-se o sistema de gotejamento. A irrigação por gotejamento permite o controle preciso da água fornecida em pequenas quantidades e alta frequência diretamente para a zona da raiz, possibilitando a manutenção das condições favoráveis de água para a proliferação de raízes no volume de solo parcialmente umedecido (SOUZA et al., 2009).

Além disso, a irrigação por gotejamento em subsuperfície permite a aplicação dos nutrientes diretamente na zona radicular, sem provocar danos à cultura, possibilitando também aplicações em cobertura de forma racional e parcelada de acordo com a necessidade da cultura nos diferentes estádios de crescimento.

Desta forma objetivou-se neste estudo avaliar os índices biométricos em diferentes

fases de desenvolvimento, os índices de produtividade, a eficiência de uso da água e a fitomassa fresca da cana-de-açúcar, em diferentes níveis de reposição hídrica por sistema de gotejamento subsuperficial, com e sem aplicação de nitrogênio ao longo do ciclo de cultivo.

Objetivou-se neste estudo avaliar os índices biométricos em diferentes fases de desenvolvimento, os índices de produtividade, a eficiência de uso da água e a fitomassa fresca da cana-de-açúcar, em diferentes níveis de reposição hídrica por sistema de gotejamento subsuperficial, com e sem aplicação de nitrogênio ao longo do cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, GO, localizada na latitude 17°48'28"S e longitude 50°53'57"O, com altitude média de 720 metros e relevo suave ondulado (6% de declividade). O clima da região foi classificado conforme Köppen, como Aw (tropical), com precipitação nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) de textura média (EMBRAPA, 2006).

Na Tabela 1 são apresentadas as características físico-hídricas e químicas do solo.

Tabela 1. Características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade

Características físico-hídricas											
Camada (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)			θ_{CC}	θ_{PMP}	Ds	PT	Classificação textural			
	Areia	Silte	Argila	---	m ³ m ⁻³ ---	g cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³				
0–0,20	458,3	150,2	391,5	51,83	30,5	1,27	0,55	Franco Argiloso			
0,20–0,40	374,9	158,3	466,8	55	31,33	1,28	0,51	Argila			
Características químicas											
Camada (m)	pH em H ₂ O	MO (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Al (mmol dm ⁻³)	H+Al	S	CTC	V (%)
0,00–0,20	6,2	63,42	7,06	2,04	20,40	16,80	0,0	57,75	41,80	99,55	41,99
0,20–0,40	6,6	44,47	2,65	4,09	14,40	13,20	0,0	44,55	31,69	76,24	41,57

θ_{CC} , capacidade de campo (10KPa); θ_{PMP} , ponto de murcha permanente (1.500 KPa); Ds, densidade do solo; PT, porosidade total; pH em água destilada. P e K, extrator Mehlich⁻¹. M.O - Matéria orgânica. V - Saturação por bases.

Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições (Figura 1). Os tratamentos consistiram em cinco níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0% de umidade do solo na capacidade de campo)

combinados com e sem aplicação de fertilizante nitrogenado (0 e 100 kg ha⁻¹ de N) na forma de ureia. A Figura 1 demonstra o esquema de distribuição das parcelas correspondentes aos respectivos tratamentos na área experimental.

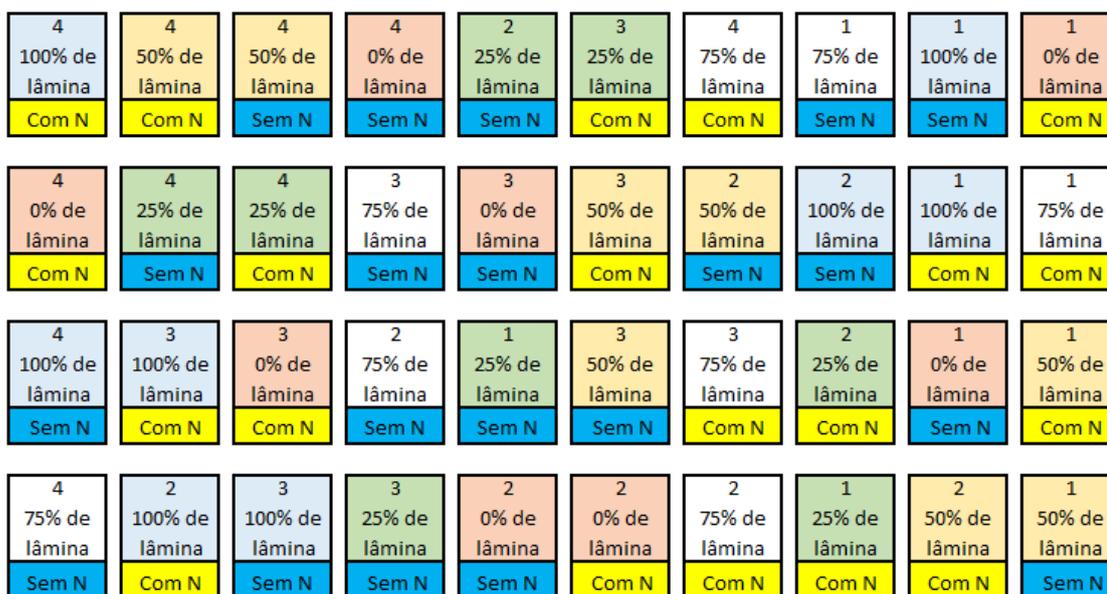


Figura 1. Esquema de distribuição das parcelas na área experimental.

A Figura 2 ilustra como foi feita em campo a diferenciação entre as diferentes lâminas de reposição hídrica, ao passo que a Figura 3A mostra em detalhe a planta com marcação para monitoramento da evolução biométrica.

Na Figura 3B observa-se a visão geral da área experimental aos 300 DAP da cana-de-açúcar. A Figura 3C apresenta a visão da parcela com o plantio em linha dupla.



Figura 2. Fotos ilustrativas das parcelas referentes aos tratamentos de reposição hídrica.



Figura 3. Detalhe de marcação de plantas para monitoramento da evolução biométrica (A); visão geral da área do experimento (B); e visão da parcela com o plantio em linha dupla (C).

Preparo do solo

O preparo inicial do solo consistiu de gradagem prévia com o intuito de eliminar a vegetação existente, distribuição de calcário na dosagem de 2,0 t/ha, de acordo com recomendação do boletim 100, distribuídos por meio de distribuidora de calcário tratorizada, e posteriormente se realizou outra gradagem com o propósito de incorporar o calcário e destorroar o solo. Por último se realizou a gradagem de nivelamento (Figura 4).



Figura 4. Preparo do solo da área experimental.

Para a construção dos sulcos de plantio, utilizou-se de subsolagem e posterior retirada de solo, que fora realizada manualmente, formando o leito de plantio (Figura 5).



Figura 5. Preparo dos sulcos para plantio em linha dupla na área experimental.

Adubação de fundação e cobertura

A área experimental foi quimicamente corrigida conforme o resultado da análise de solo, com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N (ureia), 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 80 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) (Figura 6). Na adubação de cobertura as parcelas em que foi prevista a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, este foi aplicado totalmente via água de irrigação (fertirrigação), parcelado em dez aplicações ao longo do ciclo da cultura, enquanto a adubação potássica foi realizada parcialmente no sulco de plantio, representando 30% do total, e os 70% restantes foram aplicados via água de irrigação em dez

aplicações nas parcelas irrigadas, somente no tratamento com 0% de reposição hídrica, a aplicação dos nutrientes foi realizada parceladamente na linha dupla de plantio.



Figura 6. Calagem em área total e distribuição de adubos dentro dos sulcos para plantio em fila dupla.

Plantio

O plantio ocorreu no dia 15 de março de 2011. Foram implantadas parcelas experimentais, constituídas de três sulcos de linha dupla (plantio “em W” ou plantio em “abacaxi”) com espaçamento de 0,40 metros em linhas na fileira dupla, 1,40 m entre as linhas duplas e 8 metros de comprimento, totalizando 43,2 m² de área total. Foi plantada a variedade RB 85-5453 que apresenta como características principais, alto teor de açúcar e precocidade.

As mudas foram fornecidas por unidade industrial de açúcar e álcool instalada no município de Quirinópolis/GO, cana de primeiro corte com 10 meses de idade e permaneceram 14 dias em “espera” entre a data de corte e o plantio.

Procurou-se manter 12 gemas sadias por metro linear de sulco. Cobriu-se as mudas

com 0,07 metro de camada de terra, que foram posteriormente compactadas (Figura 7).



Figura 7. Plantio das mudas de cana-de-açúcar dentro dos sulcos para plantio em fila dupla.

Sistema de irrigação

Nos tratamentos com reposição hídrica, foi utilizado o método de irrigação por gotejamento subsuperficial. O tubo gotejador foi enterrado a 0,20 m de profundidade da superfície do solo, no meio da linha dupla (Figura 8), sendo que o mesmo apresenta as seguintes características: modelo Dripnet PC 16150 com parede delgada, autocompensado, pressão de serviço de 1 bar, vazão nominal de 1,0 L h⁻¹ e espaçamento entre gotejadores de 0,45 m.

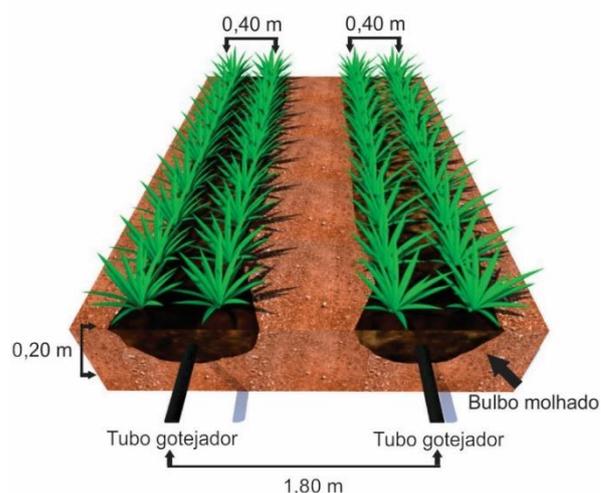


Figura 8. Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.

Manejo da Irrigação

A irrigação foi conduzida com base em tensiometria digital de punção com sensibilidade de 0,1 kPa, sendo as hastes tensiométricas instaladas nas profundidades de 0,20, 0,40, 0,60 e 0,80 m de profundidade e distâncias de 0,15, 0,30, 0,45 e 0,60 m do tubo gotejador, com leitura do potencial matricial do solo (Ψ_m). Para determinar a necessidade de irrigação, utilizou-se tensão crítica de 50 kPa. As características físico-hídricas do solo foram determinadas mediante a curva de retenção de água no solo. Uma equação foi desenvolvida, de acordo com Van Genuchten (1980), para converter o Ψ_m mensurado em conteúdo de água no solo (θ), minimizando a soma dos quadrados dos desvios utilizando o software SWRC (Dourado Neto et al. 2000), obtendo, assim, os parâmetros empíricos de ajuste utilizados na equação apresentada a seguir:

$$\theta = \frac{0,5643}{\left[1 + (0,2933|\Psi_m|)^{1,4937}\right]^{0,330522}} \quad (1)$$

sendo:

θ – conteúdo de água no solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Ψ_m – potencial matricial, mca.

A Figura 9 esquematiza o croqui de distribuição das hastes tensiométricas e a instalação em campo dentro de cada parcela representativa de determinada lâmina de

irrigação com o intuito de permitir o estudo da formação do bulbo molhado.

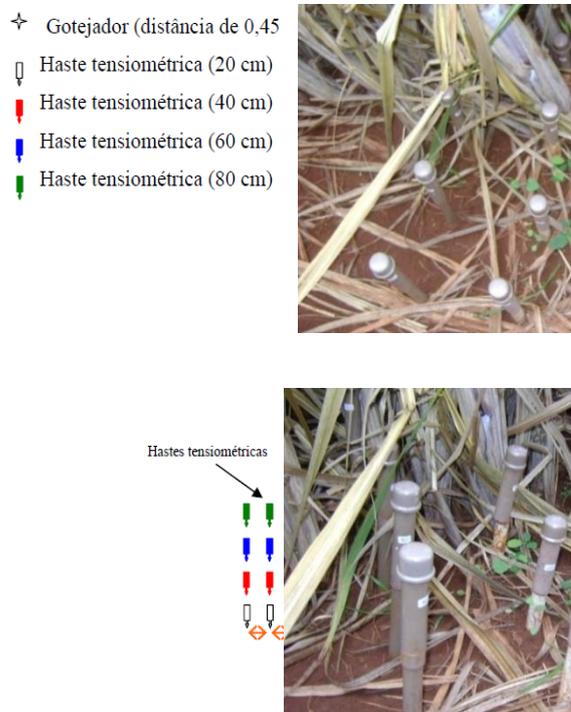


Figura 9. Croqui de instalação dos tensiômetros.

As leituras foram realizadas diariamente, possibilitando, dessa maneira, a avaliação do consumo hídrico da cultura com relação às lâminas de irrigação utilizadas (100, 75, 50, 25 e 0% da água disponível no solo).

Para o cálculo da lâmina (mm) e do tempo de aplicação (minutos) foram utilizadas as equações 2 e 3:

$$LL = \frac{(\theta_{cc} - \theta_{atual})}{10} \times Z \quad (2)$$

$$Tempo = 60 \times 10^{-3} \left(\frac{LL \times A}{Q} \right) \quad (3)$$

em que:

LL = lâmina a ser aplicada (mm);

θ_c = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3.\text{cm}^3$), obtida a partir da curva de retenção de água no solo;

θ_{atual} = umidade do solo no momento da irrigação ($\text{cm}^3.\text{cm}^3$);

Z = profundidade do solo (cm);

A = área da parcela irrigada;

Q = vazão do sistema ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) no tratamento controle (100% da lâmina de irrigação).

Com os resultados diários do conteúdo de água no solo, se determinou o volume de água aplicado para cada nível de reposição hídrica, sendo que nos tratamentos de 100% baseou-se na elevação da umidade do solo para a capacidade de campo. Para os demais tratamentos, foram aplicadas lâminas de acordo com a porcentagem prevista de reposição hídrica. Ao final do experimento, contabilizou-se o volume total de água aplicado pela irrigação, sendo 0, 126, 252, 378 e 504 mm de água para os níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% de reposição hídrica, respectivamente.

Foi realizado monitoramento da vazão seguindo a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), de forma a evitar a desuniformidade na aplicação de água.

Captação de água

A captação da água foi realizada em represamento do córrego, distante 300 metros da área. O cabeçal de controle da irrigação foi instalado na porção mediana da área experimental, composto de filtro, sistema

injetor de fertilizante tipo Venturi, manômetro, registros e válvulas anti-vácuo. Os registros, no total de 8 (oito), liberavam a irrigação para os tratamentos irrigados, separando-os conforme o nível de reposição hídrica a ser aplicada e conforme aplicação ou não de nitrogênio. Dos registros saíram as tubulações de PVC, onde foram conectadas as linhas laterais (Figura 11).



Figura 10. Malha hidráulica do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.

No sistema de irrigação havia sistema de filtragem equipado com filtro de disco de 100 mesh para a retirada de partículas sólidas que porventura podiam entrar no sistema. O controle do tempo de aplicação foi realizado manualmente.

Para atender cada parcela com o gotejamento, foram instaladas mangueiras de polietileno de baixa densidade, sem furos, conduzindo a água da tubulação em PVC até o início da parcela, onde foi conectado o tubo gotejador com extensão de 8 metros (comprimento da parcela).

Com 50 dias após plantio, realizou-se a operação de “quebra-lombo”, onde se carregou a terra retirada na confecção dos sulcos de

plântio, e que estavam entre as fileiras duplas para junto das brotações da cana-de-açúcar.

Avaliações Biométricas

A avaliação das variáveis biométricas da cana-de-açúcar foi realizada em nove etapas mensalmente a partir dos 90 DAP (dias após plântio), correspondendo aos seguintes períodos: 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAP.

Foram avaliados a altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, mm) e área foliar (AF, m²) de três plantas, situadas na área útil de cada parcela (metro linear no meio da linha dupla central). A AP foi mesurada com auxílio de uma fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha +1 e o DC foi dimensionado utilizando paquímetro digital, na base do colmo. A AF foi calculada através da medida do comprimento e largura da folha +1, e contabilização do número de folhas verdes, através da seguinte equação: $AF = (C \times L) \times (N+2) \times 0,7$, em que C – comprimento da folha +1; L – largura da folha +1; N – número de folhas verdes; e 0,7 – fator de correção.

Balanço Hídrico

A partir dos dados climatológicos do período experimental, foi elaborada a estimativa do balanço hídrico decendial para a cana-de-açúcar em manejo de sequeiro, empregando o método de Thornthwaite e Mather (1955) modificado por Camargo (1962), sendo que a Evapotranspiração de Referência (E_{t0}) foi

calculada segundo a equação de Penman-Monteith (Monteith, 1973) (Figura 11).

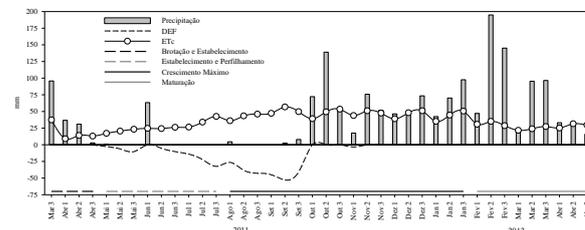


Figura 11. Balanço hídrico da cana-de-açúcar em manejo de sequeiro. DEF – Déficit hídrico. ETc – Evapotranspiração da cultura. Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO. Fases da cultura (adaptado de Doorenbos e Kassam, 1994).

Ao final do experimento, contabilizou-se o suprimento de água ao solo, para determinação do volume de água fornecido, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Volumes de água aplicados para cada nível de reposição hídrica

RH (%)	LA (mm)	PE (mm)	VTA (mm)
RH 0	0	1019	1019
RH 25	126	1019	1145
RH 50	252	1019	1271
RH 75	378	1019	1397
RH 100	504	1019	1523

RH – Reposição hídrica; LA – Lâmina aplicada durante o experimento; PE – Precipitação efetiva; VTA – Total de água recebido.

Colheita

Após os 395 dias do plântio, foi realizada a colheita da área útil de cada parcela (metro linear central da linha principal) e realizada a pesagem das seguintes partes separadamente: peso dos colmos, peso dos ponteiros e peso de folhas secas. Esses valores foram utilizados para determinação da fitomassa fresca do ponteiro (FP t ha⁻¹),

fitomassa de folha seca (FS, t ha⁻¹), fitomassa fresca total da parte aérea (FT, t ha⁻¹) e relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC, %). Para o cálculo da relação FP/FC, foi realizada a divisão dos resultados de FP pela produtividade de colmos (PCH), e posteriormente multiplicado por cem para obtenção do resultado em porcentagem. Foram coletados os colmos de dez plantas por tratamento e submetidas à análise em laboratório para determinação da quantidade de açúcar bruto contido nos colmos da cana-de-açúcar.

Foram determinados a produtividade de colmos (PCH, t ha⁻¹), eficiência de uso da água (EUA, mm t⁻¹ ha⁻¹), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ, t ha⁻¹), rendimento bruto de álcool (RBAL, m³ ha⁻¹) e o número de perfilhos industrializáveis (NPI, perfilhos m²). A PC foi determinada através da pesagem dos colmos da área útil de cada parcela, com auxílio de balança digital de mão, extrapolando para 1 ha. A EUA foi calculada através da relação entre o volume total de água recebido pelas plantas (VTA) e a PCH.

O NPI foi determinado por meio da contagem das plantas na área útil. Os cálculos para rendimento bruto de açúcar (RBAÇ, Mg ha⁻¹) e rendimento bruto de álcool (RBAL, m³ ha⁻¹) foram realizados de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998), apresentadas nas equações 7 e 8, utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado por análise tecnológica do caldo.

$$RBAÇ = \frac{(PCC \times PCH)}{100} \quad (7)$$

$$RBAL = [(PCC \times F) + ARL] \times F_g \times 10 \times PCH \quad (8)$$

em que:

PCC - quantidade de açúcar bruto contido nos colmos e determinada em laboratório (%);

PCH - produtividade de colmo (t ha⁻¹);

F - fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052;

ARL - são os açúcares redutores livres em %, cujos valores variam de 0,7 a 0,85%, sendo que a destilaria utiliza 0,7 para PCC alto;

F_g - o fator de Gay Lussac igual a 0,6475.

Análise Estatística

Os resultados das variáveis biométricas obtidas em cada fase de desenvolvimento e os índices de produtividade foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, e em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis de reposição hídrica, enquanto para o fator aplicação de nitrogênio as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O balanço hídrico apresentado na Figura 11 permitiu observar a influência dos diferentes níveis de reposição hídrica no desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar

nas diferentes épocas avaliadas. A precipitação total ao longo do ciclo da cultura foi de 1479,6 mm, retirando o volume de água percolado foram computados 1019 mm de precipitação efetiva (PE). A evapotranspiração total do ciclo da cultura (ETc) totalizou 1523 mm.

Variáveis Biométricas

A análise de variância realizada com os dados obtidos (Tabela 3) demonstrou que as fontes de variação analisadas não apresentaram interação significativa entre os fatores de reposição hídrica (RH) combinadas com nitrogênio (N). Dantas Neto et al. (2006) observaram resultados semelhantes, pois nenhuma das variáveis analisadas nos parâmetros de crescimento da cana-de-açúcar apresentou interação entre níveis de adubação e regime de irrigação, porém responderam significativamente à adubação de cobertura. Quando analisado isoladamente, a resposta da variável altura de planta (AP) da cana-de-açúcar ao fator RH mostrou diferença significativa a 1% de probabilidade em todas as fases de desenvolvimento da cultura analisados, assim como para a variável área foliar (AF), exceto aos 90 dias após o plantio (DAP), em que o grau de significância do teste F foi de 5% de probabilidade. Para o diâmetro de colmos (DC) não foi observada significância aos 90 DAP, justificado pelo fato de ser início de desenvolvimento das plantas, não havendo a diferenciação em função dos níveis de RH; no entanto, a partir dos 120 DAP foi observada diferença significativa a 1% de probabilidade

em todas as fases de desenvolvimento. Resultados contrários foram observados por Silva et al. (2008), registraram que o diâmetro de colmos não foi um indicador capaz de refletir diferenças em cana-de-açúcar cultivada sobre diferentes regimes hídricos.

O fator N não provocou efeito significativo para as variáveis biométricas no início do ciclo. A variável AP sofreu interferência significativa a 1% de probabilidade em função do fator N, segundo teste F (Tabela 3), somente aos 300 e 330 DAP. Para DC, foi observada significância a 5% nas fases de desenvolvimento avaliadas a partir dos 150 DAP. Para AF, somente a partir dos 240 DAP obteve-se significância a 5% de probabilidade, sendo observada na última avaliação (330 DAP) significância a 1%. Estes resultados estão de acordo com Franco et al. (2011), em que relatam os estudos sobre a adubação nitrogenada apresentam resultados muito variáveis quanto ao efeito de formas de aplicação do nitrogênio, principalmente na produtividade de colmos, apresentando respostas bem heterogêneas para cana-planta e relativamente homogêneas para cana-soca. Apesar disso, é conhecido que, dentre os principais fatores que limitam a produtividade dos canaviais brasileiros se destacam a disponibilidade hídrica e de nutrientes, principalmente o elemento nitrogênio para a cultura (WIEDENFELD & ENCISO, 2008; OLIVEIRA, 2013).

Quando analisada a variável AP frente à presença e ausência de N, nas fases em que foi

observada diferença significativa segundo teste Tukey, as plantas de cana-de-açúcar sofreram um acréscimo de 5,58 e 4,97 cm com aplicação de N, respectivamente, aos 300 e 330 DAP, correspondendo a um incremento de 1,96 e 1,59% (Tabela 3).

O incremento do DC da cana-de-açúcar foi mais expressivo com o fornecimento de N, sendo observada diferença significativa a partir dos 150 DAP, com um acréscimo de 4,38% (Tabela 4). Nas fases de desenvolvimento subsequentes, o aumento no desenvolvimento do DC da cana-de-açúcar com N foi menor, encontrando aos 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAP, acréscimos de 2,91, 2,66, 2,40, 2,54, 2,20 e 2,19%, respectivamente. Desta maneira, é possível constatar que a utilização do N pelas plantas de cana-de-açúcar que provocasse incremento no desenvolvimento do DC ocorreu no início do estágio de máximo crescimento da cultura, sendo que nos demais períodos a taxa de crescimento foi semelhante, ou seja, o N foi responsável pelo arranque inicial do DC.

O fornecimento de N provocou influência no desenvolvimento da AF somente a partir dos 240 DAP, com aumento de 4,06 m², o que corresponde ao acréscimo de 6,83%. Aos 270 e 300 DAP, o incremento na AF proporcionado pelo N foi menos expressivo, de 5,90 e 5,53%, respectivamente. Entretanto, o máximo desenvolvimento observado na AF com o fornecimento de N ocorreu aos 330 DAP, com o acréscimo de 6,76 m²,

representando o incremento de 8,51%, deparando com o final do parcelamento da aplicação de N (Tabela 3).

A adição do N diretamente na zona radicular pode ter contribuído para a disponibilidade desse nutriente nas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar mais avançadas, por proporcionar a contribuição direta na acelerada dispersão do N no ambiente, permitindo que estas plantas aproveitassem em maior quantidade e por um maior período de tempo. Segundo Roberts (2008), 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.

As médias de AP da cana-de-açúcar em função da RH comportaram em modelos lineares em todas as fases de desenvolvimento analisadas (Figura 12). Durante o estágio de estabelecimento e perfilhamento da cana-de-açúcar, foi observado acréscimo de 1,60 cm aos 90 DAP (Figura 12A) e 2,57 cm aos 120 DAP (Figura 12B) a cada nível de RH em que as plantas foram submetidas, constatando dessa maneira com 100% de RH, rendimentos de 19,85% e 22,72% superiores ao manejo de sequeiro (0% de RH), respectivamente, aos 90 e 120 DAP. Dias et al. (2012) mostraram que a altura e a produção de biomassa da parte aérea da cana-de-açúcar foram sensíveis à restrição hídrica, alcançando os maiores valores para o cultivo sob o regime de irrigação plena.

A partir dos 150 DAP, período em que compreende o início do estágio de crescimento máximo da cana-de-açúcar, o desenvolvimento de AP foi influenciado de forma mais expressiva pela RH. A AP no tratamento com 100% de RH aos 150 DAP foi 33,77% superior ao manejo de sequeiro (0% de RH), com acréscimo de 5,13 cm a cada nível de RH em que as plantas foram submetidas (Figura 14C). FREITAS et al.,

(2012) destacaram que a diferença significativa entre a altura das plantas de cana-de-açúcar 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 3. Resumo da análise de variância para altura de planta, diâmetro de colmo e área foliar da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio, nos diferentes dias após o plantio.

Variáveis	Quadrados Médio das Fontes de Variações						Nitrogênio	
	Reposição Hídrica (RH)	Nitrogênio (N)	Interação RH x N	Bloco	Resíduo	CV (%)	Com	Sem
DAP	Altura de Planta (AP)						AP (cm)	
90	58,37**	0,02 ^{ns}	11,25 ^{ns}	4,53 ^{ns}	12,67	10,03	35,52a	35,47a
120	153,06**	14,08 ^{ns}	14,83 ^{ns}	12,96 ^{ns}	13,16	7,19	51,07a	49,88a
150	680,38**	116,04 ^{ns}	33,96 ^{ns}	6,30 ^{ns}	44,19	9,37	72,69a	69,28a
180	470,66**	12,58 ^{ns}	67,37 ^{ns}	29,03 ^{ns}	59,26	7,86	98,51a	97,39a
210	524,87**	2,83 ^{ns}	85,98 ^{ns}	12,58 ^{ns}	41,37	5,52	116,81a	116,29a
240	1042,63**	102,84 ^{ns}	50,40 ^{ns}	30,49 ^{ns}	56,57	5,20	146,26a	143,04a
270	770,19**	181,01 ^{ns}	15,16 ^{ns}	46,69 ^{ns}	51,06	3,64	194,32a	198,57a
300	1785,58**	310,52**	7,01 ^{ns}	59,28 ^{ns}	34,15	2,08	284,18a	278,60b
330	1085,06**	248,25**	33,75 ^{ns}	22,30 ^{ns}	20,30	1,45	312,23a	307,26b
DAP	Diâmetro do Caule (DC)						DC (mm)	
90	7,57 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,26 ^{ns}	3,30	8,48	21,63a	21,23a
120	17,39**	5,10 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,25 ^{ns}	2,27	5,93	25,79a	25,07a
150	18,14**	15,67*	0,59 ^{ns}	3,19 ^{ns}	3,23	6,45	28,52a	27,27b
180	15,31**	7,89*	0,29 ^{ns}	4,59 ^{ns}	1,94	4,63	30,60a	29,71b
210	14,66**	7,43*	0,45 ^{ns}	4,36 ^{ns}	1,67	4,05	32,34a	31,48b
240	14,29**	6,43*	0,46 ^{ns}	3,79 ^{ns}	1,61	3,86	33,39a	32,59b
270	14,01**	7,62*	0,38 ^{ns}	3,78 ^{ns}	1,26	3,33	34,25a	33,38b
300	18,56**	5,97*	0,54 ^{ns}	3,14 ^{ns}	1,31	3,32	34,97a	34,20b
330	21,66**	6,01*	0,65 ^{ns}	2,95 ^{ns}	1,35	3,30	35,58a	34,80b
DAP	Área Foliar (AF)						AF (m ²)	
90	77,45*	7,81 ^{ns}	3,69 ^{ns}	0,19 ^{ns}	5,07	11,86	19,43a	18,55a
120	123,64**	23,82 ^{ns}	5,60 ^{ns}	2,61 ^{ns}	11,90	12,29	28,83a	27,29a
150	203,78**	27,98 ^{ns}	4,39 ^{ns}	4,75 ^{ns}	7,39	8,32	33,52a	31,85a
180	236,95**	33,74 ^{ns}	6,72 ^{ns}	12,39 ^{ns}	16,83	10,66	39,39a	37,55a
210	341,33**	33,26 ^{ns}	12,54 ^{ns}	13,16 ^{ns}	17,75	9,19	46,77a	44,94a
240	573,40**	164,55*	7,28 ^{ns}	12,34 ^{ns}	23,29	8,40	59,48a	55,42b

270	1262,34**	168,26*	15,09 ^{ns}	1,64 ^{ns}	27,32	7,75	69,52a	65,42b
300	2132,63**	194,87*	23,54 ^{ns}	19,20 ^{ns}	31,90	7,27	79,89a	75,47b
330	2380,89**	456,70**	36,47 ^{ns}	11,64 ^{ns}	15,72	5,22	79,41a	72,65b

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; médias seguida de mesma letra entre colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Aos 180, 210 e 240 DAP, o desenvolvimento de AP foi semelhante entre os níveis de RH, observando diferenças nos resultados com 100% de RH de 21,89, 18,92 e 22,05% em relação aos tratamentos com 0% de RH, ou seja, a taxa de crescimento de AP foi mantida de maneira uniforme entre os tratamentos. Nestas fases, os incrementos observados de AP para a elevação de cada nível de RH foram de 4,83, 5,04 e 7,18 cm, respectivamente, aos 180, 210 e 240 DAP (Figuras 12D, 12E e 12F).

Já ao final do estágio de crescimento máximo da cana-de-açúcar, o efeito da RH na AP foi menos expressivo. Os incrementos proporcionados pelo aumento de cada nível de RH foram de 6,19, 9,01 e 6,95 cm, respectivamente, aos 270, 300 e 330 DAP. O valor estimado dos níveis de reposição hídrica com 100% de RH foi 13,46, 13,69 e 9,40% superior ao manejo de sequeiro (0% de RH) (Figuras 12G, 12H e 12I).

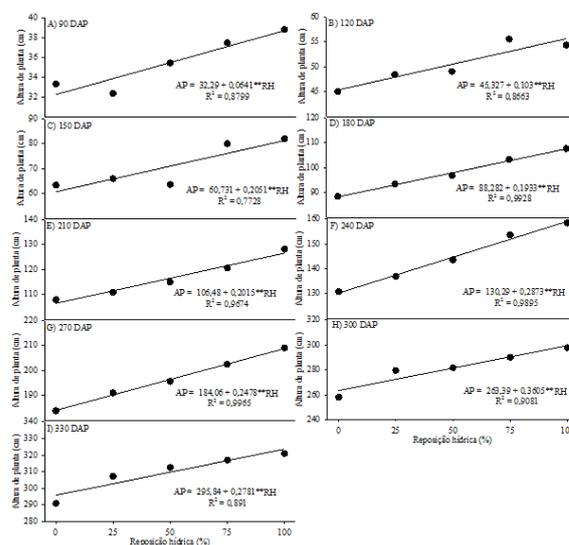


Figura 12. Altura de planta da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 90 DAP; B – 120 DAP; C – 150 DAP; D – 180 DAP; E – 210 DAP; F – 240 DAP; G – 270 DAP; H – 300 DAP; e I – 330 DAP

Destacando dessa maneira que houve certa retomada no desenvolvimento de AP naqueles tratamentos com restrição hídrica, provavelmente pela disponibilidade de água no solo proporcionado pelas chuvas, que se iniciaram ao fim do mês de setembro (Figura 11). Esses resultados corroboram com Oliveira et al. (2010), demonstrando que as variedades RB alcançaram valores de altura de planta superiores a 300 cm sob irrigação plena.

Os valores estimados de DC em função dos diferentes níveis de RH apresentaram tendência linear em todas as fases de desenvolvimento em que foi observada significância segundo teste F (Figura 13). A

diferença no desenvolvimento do DC da cana-de-açúcar nos níveis de RH distintos foi semelhante nos diferentes períodos avaliados. Aos 120 DAP, o DC sofreu incremento de 3,92% a cada nível de RH avaliado, deparando com o valor estimado de 27,28 mm com irrigação plena (100% de RH) (Figura 13A).

Logo no início do estágio de crescimento máximo da cana-de-açúcar (150 DAP), os acréscimos alcançados para DC com o acréscimo nos níveis de RH foram de 3,62, 3,07 e 3,39% aos 150, 180 e 210 DAP, alcançando dessa forma o aumento de 3,77, 3,49 e 4,1 mm com 100% de RH em relação ao manejo de sequeiro (0% de RH), respectivamente (Figura 13B, 13C e 13D).

Aos 240 DAP, foi observado diferenças de apenas 2,66% nos valores de DC a cada nível de RH em que as plantas foram submetidas (Figura 13E), assim como aos 270 e 300 DAP, que observaram diferenças de 2,56 e 2,94% entre os níveis de RH. Contudo, vale ressaltar que nesse período encontrou-se alta precipitação (Figura 11), favorecendo de maneira geral a manutenção da umidade no solo.

No entanto, logo em seguida é observado um distanciamento nas médias de DC em analogia dos diferentes níveis de RH, destacando que, aos 330 DAP, alcançou-se com 100% de RH um aumento de 4,15 mm em relação ao manejo de sequeiro (0% de RH), que representa o incremento de 3,13% para cada nível de RH acrescentado, obtendo o valor

máximo de 37,26 mm (Figura 13H). Essa resposta é semelhante aos resultados obtidos por Dantas Neto et al. (2006) com cana-de-açúcar irrigada no nordeste brasileiro, que encontraram o incremento com uma lâmina total aplicada de 1343 mm de 30,0% em relação ao manejo de sequeiro, alcançando média de 24,67 mm de diâmetro de colmo.

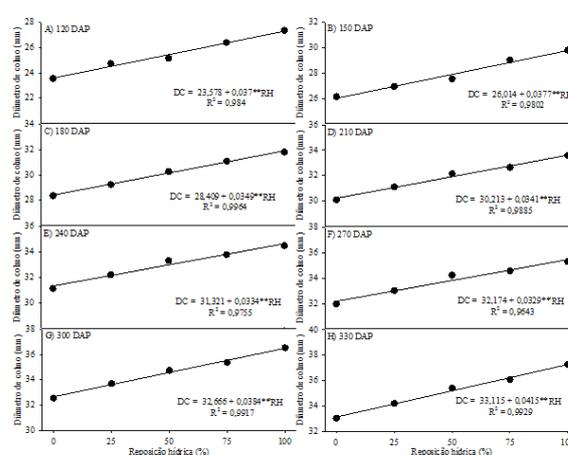


Figura 13. Diâmetro de colmo da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 120 DAP; B – 150 DAP; C – 180 DAP; D – 210 DAP; E – 240 DAP; F – 270 DAP; G – 300 DAP; e H – 330 DAP

O efeito na AF da cana-de-açúcar submetida aos diferentes níveis de RH indicou comportamento linear em todas as fases de desenvolvimento analisadas (Figura 14). A diferença entre os valores estimados de AF nos diferentes níveis de RH foi crescente de acordo com a evolução das fases de desenvolvimento da cultura. Aos 90 DAP, a AF sofreu acréscimo de 1,85 m² a cada nível de RH, deparando com uma resposta máxima de 22,69 m² com 100% de RH (Figura 14A). Quando submetidas a condições de deficiência hídrica, as plantas

apresentam uma série de alterações morfofisiológicas, tais como enrolamento da folha, alteração do ângulo da folha e redução da área foliar (CHAVES et al., 2008).

A partir do início do estágio de crescimento máximo da cana-de-açúcar, o desenvolvimento da AF das plantas em condições de maior umidade do solo foi mais expressivo, destacando o resultado com 100% de RH 58,20% superior ao manejo de sequeiro (0% de RH) aos 120 DAP (Figura 14B). Aos 150, 180 e 210 DAP, observou-se certa similaridade no desenvolvimento de AF, observando-se acréscimos de 11,22, 10,72 e 10,57% a cada nível de RH (Figura 14C, 14D e 14E).

Na sequência das fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, observa-se que a diferença de AF entre os diferentes níveis de RH foi aumentando gradativamente. Aos 240, 270, 300 e 330 DAP, foram observados acréscimos, respectivamente, de 11,37, 15,36, 17,77 e 19,79 m² a cada nível de RH. A irrigação plena (100% de RH) proporcionou nessas fases incrementos de 45,59, 61,46, 71,08 e 79,16% em relação ao manejo de sequeiro (0% de RH) (Figura 14F, 14G, 14H e 14I).

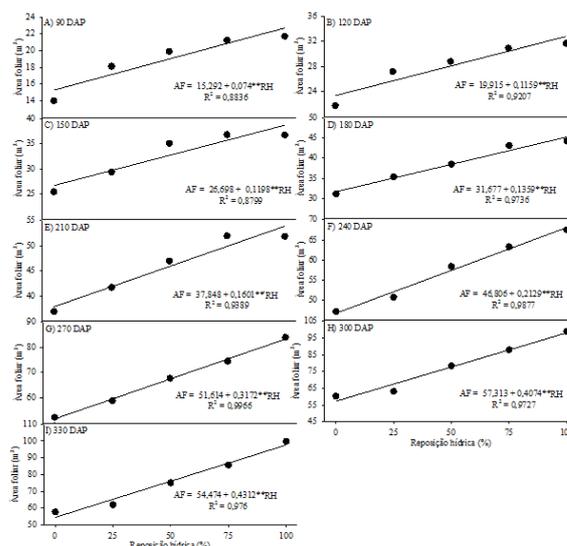


Figura 14. Área foliar da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 120 DAP; B – 150 DAP; C – 180 DAP; D – 210 DAP; E – 240 DAP; F – 270 DAP; G – 300 DAP; e H – 330 DAP.

Farias et al. (2007) observaram acréscimo de aproximadamente 46,0% no índice de área foliar da cana-de-açúcar com irrigação plena. A diferença expressiva entre os níveis de RH está relacionada principalmente ao baixo desenvolvimento de AF nos tratamentos com restrição hídrica, constatado pela taxa de crescimento com 0% de RH de apenas 4,81 e 5,70 m² nos períodos de 240-270 e 270-300 DAP, respectivamente, e redução de 2,84 m² no período de 300-330 DAP. Vale ressaltar que, para todos os níveis de RH, os valores máximos de AF foram encontrados aos 300 DAP, alcançando máxima resposta de 98,05 m² com 100% de RH.

O papel do dossel da cultura é um fator importante no rendimento de cultivos, interceptando a radiação solar que impulsiona os processos de fotossíntese e evaporação, além

de provocar sombreamento sobre plantas daninhas (SMIT & SINGELS, 2006).

A resposta de crescimento da altura de planta da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica foi bem mais expressiva que o diâmetro de colmos. Em relação área foliar, foi observada maior sensibilidade às variações do volume de irrigação, enquanto para o número de perfilhos, a reposição hídrica apresentou menor efeito. Segundo Inman-Bamber & Smith (2005) e Ghannoum (2009), as características morfológicas e fisiológicas modificadas pelo estresse hídrico são de grande relevância para obtenção de elevadas produtividades vegetais.

As características varietais da variedade RB 85-5453, quando definidas sob manejo irrigado, demonstraram crescentes com o volume de água fornecido, as quais influenciam na eficiência fotossintética e conseqüentemente no rendimento de colmos. Entretanto, a produtividade da cana-de-açúcar irrigada depende da relação entre a quantidade de água

aplicada e a quantidade de adubo disponibilizado, além da variedade, idade do corte e tipo de solo e clima (GAVA et al., 2011).

Fitomassa de Parte Aérea

A Tabela 4 demonstra o resumo da análise de variância para as respostas de fitomassa da parte aérea da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica e aplicação de nitrogênio. A reposição hídrica provocou interferência significativa positiva para fitomassa total (FT) e relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC). A aplicação de nitrogênio interveio significativamente somente para fitomassa do ponteiro (FP), enquanto a variável fitomassa de folha seca (FS) não sofreu efeito das variáveis analisadas. A interação reposição hídrica e aplicação de nitrogênio (RH x N) não provocaram efeito significativo para nenhuma das variáveis avaliadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para fitomassa de colmo (FC), fitomassa do ponteiro (FP), fitomassa de folha seca (FFS), fitomassa total (FT) e relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio

Fonte variação	GL	Quadrados Médio			
		FP	FS	FT	FP/FC
Reposição Hídrica (RH)	4	466,81 ^{ns}	29,38 ^{ns}	12479,74*	68,70*
Nitrogênio (N)	1	1060,28*	4,85 ^{ns}	11678,62 ^{ns}	16,11 ^{ns}
Interação RH x N	4	394,20 ^{ns}	18,90 ^{ns}	1766,33 ^{ns}	43,97 ^{ns}
Blocos	3	39,48 ^{ns}	26,77 ^{ns}	1281,65 ^{ns}	56,80
Resíduo	27	213,36	33,69	3281,06	23,32
CV (%)		22,51	38,27	19,51	15,70
Nitrogênio (N)					
Com		70,03 a	14,81 a	310,67 a	31,39 a
Sem		59,73 b	15,51 a	276,50 a	30,12 a
DMS		9,47	3,76	37,16	3,13

* Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste F; ** Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey

A fitomassa total (FT) das plantas de cana-de-açúcar respondeu positivamente a reposição hídrica, admitindo-se tendência linear segundo a análise de regressão ($R^2 = 0,78$) (Figura 15). A FT estimada em sequeiro foi de $44,9 \text{ kg m}^{-2}$, 26% inferior ao rendimento máximo, obtido com 100% de RH, com resposta de $60,8 \text{ kg m}^{-2}$. Farias et al. (2008) observaram o desenvolvimento 72% superior na fitomassa seca total das plantas de cana-de-açúcar, com a utilização da irrigação. Conforme menciona Segato et al. (2006), como a maioria das poáceas, a cana-de-açúcar necessita de grandes quantidades de água para seu desenvolvimento, apresentando elevada eficiência na utilização e resgate de CO_2 da atmosfera, adaptada às condições de alta intensidade luminosa e altas temperaturas.

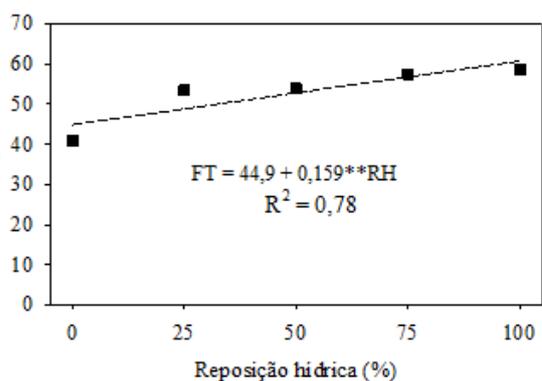


Figura 15. Fitomassa total (FT) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

A relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC) permite a obtenção da reposta do desenvolvimento do ponteiro em relação ao rendimento de colmos da cana-de-açúcar. Essa variável apresentou reposta quadrática em função da reposição

hídrica ($R^2 = 0,74$), em que a menor relação foi observada no manejo de sequeiro (RH 0%), com um valor estimado de FP/FC estimada de 56,03% (Figura 16). Esse resultado admite um desenvolvimento de $0,37 \text{ t ha}^{-1}$ de ponteiro para cada tonelada de colmo produzido. No entanto, levando em consideração a baixa produtividade de colmos com nível de RH em relação aos demais, a alta resposta de FP/FC torna-se fator limitante, atribuído ao baixo aproveitamento dos produtos fotossintéticos na produção de colmos.

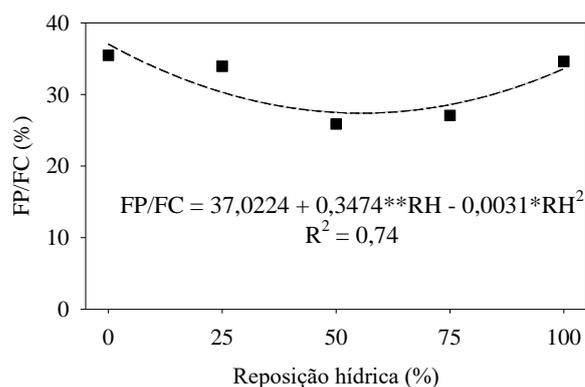


Figura 16. Relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

O tratamento com RH 100% também apresentou alta relação de FP/FC, com valor estimado de 33,3%, porém, como foi obtido alto rendimento de PCH, a alta relação se torna um fator positivo. A obtenção de alta relação de FP/FC é extremamente importante para o rendimento de cultivos, levando em consideração a maior produção de carboidratos pela fotossíntese quanto maior a arquitetura da área foliar. No entanto, deve ser observada a

assimilação dos carboidratos para serem aproveitados na produção dos colmos.

A alta produção de ponteiro da cana-de-açúcar deve ser observada também em relação ao resíduo de palhada depositado sobre o solo na ocasião da colheita. A deposição e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo, mesmo contribuindo com a sua conservação, pode causar problemas relacionados ao manejo da cultura (FURLANI NETO et al., 1997). Quando relacionado, por exemplo, com o máximo rendimento de PCH de 249 t ha⁻¹, com o nível de reposição hídrica de 100%, são produzidos aproximadamente 83 t ha⁻¹ de ponteiro.

A menor relação de FP/FC foi observada com a reposição hídrica de 56%, com valor estimado de 27,4%, demonstrando que, para cada megagrama de colmo produzido por hectare, são necessários 0,274 t ha⁻¹ de ponteiro da cana-de-açúcar. Considerando que, com 56% de reposição hídrica é alcançado o rendimento de colmos de 218 t ha⁻¹, segundo a linha de tendência apresentada para PCH, pode-se admitir a alta eficiência pelas plantas na assimilação dos carboidratos produzidos na fotossíntese.

A influência da adubação nitrogenada ocorreu somente para fitomassa do ponteiro (FP), representando o aumento de 14,68%, diferindo estatisticamente. Em estudo da distribuição do N proveniente do fertilizante ureia nas plantas de cana-de-açúcar, Franco et al. (2008) observaram na ocasião da colheita que

o acúmulo nas diversas partes da planta não variou com a dose de N empregada, sendo em média de 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes.

A folha apresenta alta atividade metabólica, refletindo, em sua composição, as mudanças nutricionais (EPSTEIN & BLOOM, 2006). O efeito significativo do nitrogênio na FP pode ser atribuído ao fornecimento do fertilizante em pequenas doses ao longo do ciclo de cultivo; aumentando a absorção e favorecendo o aproveitamento do nitrogênio (SINGH & MOHAN, 1994; NG KEE KWONG et al., 1999) por apresentar sincronismo maior de disponibilização e absorção de nutrientes para as plantas (KÖLLN, 2012). As médias dos tratamentos foram de 12,71 e 10,75 Kg m⁻¹, com e sem fornecimento de N, respectivamente, para FP.

5.3 Variáveis Produtivas

Na Tabela 5 é apresentado o resumo da análise de variância para os índices produtivos e tecnológicos da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica e aplicação de nitrogênio. O fator reposição hídrica (RH) causou efeito significativo a 1% de probabilidade para as variáveis: produtividade de colmos (PCH), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ), rendimento bruto de álcool (RBAL) e número de perfilhos industrializáveis (NPI); enquanto a aplicação de nitrogênio (N) interferiu significativamente nos resultados de RBAÇ e RBAL a 5% de probabilidade. A interação

reposição hídrica e aplicação de nitrogênio (RH x N) não provocou efeito significativo para nenhuma das variáveis avaliadas.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para produtividade de colmo (PCH), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ), rendimento bruto de álcool (RBAL), eficiência de uso da água (EUA) e número de perfilhos industrializáveis (NPI) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio

Fonte variação	GL	Quadrados Médio				
		PCH	RBAÇ	RBAL	EUA	NPI
Reposição Hídrica (RH)	4	8424,45**	245,03**	122,70**	2,09 ^{ns}	23,33**
Nitrogênio (N)	1	6038,38 ^{ns}	222,45*	110,50*	4,36 ^{ns}	3,02 ^{ns}
Interação RH x N	4	441,10 ^{ns}	12,61 ^{ns}	6,31 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,08 ^{ns}
Blocos	3	1712,05 ^{ns}	36,54 ^{ns}	18,53 ^{ns}	1,86 ^{ns}	10,49 ^{ns}
Resíduo	27	1866,16	40,73	20,63	1,73	6,39
CV (%)		20,23	20,58	20,57	2,09 ^{ns}	11,51
Nitrogênio (N)		Médias				
Com		225,82 a	33,36 a	23,74 a	5,86a	22,25a
Sem		201,25 a	28,64 b	20,42 b	6,52a	21,70a
DMS		28,03	4,14	2,95	0,85	1,64

* Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste F; ** Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.

A produtividade de colmos (PCH) foi responsiva à reposição hídrica, mostrando um acréscimo linear, de acordo com a análise de regressão (Figura 17). Desta forma, a cada 1% de reposição hídrica fornecido, obteve-se um acréscimo de 0,4% na produtividade de colmos, o que equivale ao rendimento de 0,7 t ha⁻¹ para o nível de reposição hídrica de 100% (Figura 17).

Os fatores avaliados não provocaram efeito significativo para eficiência de uso da água (EUA). Esse fato pode ser atribuído a alta precipitação efetiva ao longo do período experimental (PE = 1019 mm). No entanto, vale ressaltar que a ocorrência de chuvas na região se concentra em apenas um determinado período do ano, resultando em queda acentuada na produtividade de colmos nos diferentes

níveis de RH. Segundo Ometto (1980), a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, podendo resultar em quedas acentuadas de rendimento.

A produção estimada de colmos estimada de 213,5 t ha⁻¹, superou os resultados obtidos por Carvalho et al. (2009) e Oliveira et al. (2009) devido a alta precipitação incidida na região durante o período experimental (PE = 1019 mm) e a disponibilidade hídrica com alta frequência de aplicação nos tratamentos irrigados. Entretanto, tais resultados foram semelhantes a resultados obtidos por Dalri et al. (2008); Barbosa et al. (2012) e Andrade Júnior et al. (2012) utilizando irrigação por gotejamento subsuperficial.

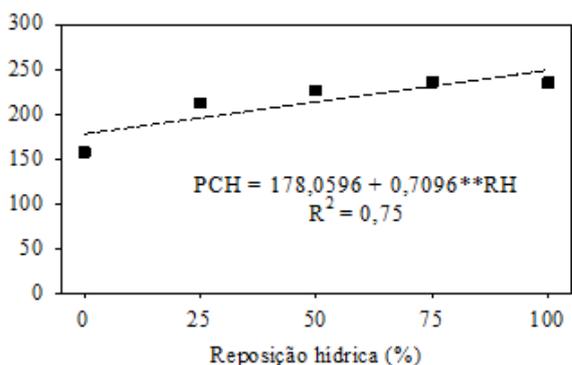


Figura 17. Produtividade de colmos (PCH) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

A máxima produtividade de colmos foi alcançada no manejo RH 100%, com valor estimado 40% superior ao manejo de sequeiro (RH 0%), que foi de 178 t ha⁻¹, demonstrando que o longo inverno seco resultou em quedas de rendimento, apesar da ocorrência de volumes adequados de chuva no verão. Esse fato corrobora com Dantas Neto et al. (2006) e Farias et al. (2008), que afirmam que o uso da tecnologia de irrigação é imprescindível para a obtenção de produtividades elevadas, atingindo o potencial genético da cultura.

A resposta de PCH foi semelhante aos resultados obtidos por Oliveira et al. (2011a), que alcançaram 255,6 t ha⁻¹ com um VTA de 1396,6 mm utilizando-se a variedade RB 92579; porém superior aos resultados de Andrade Júnior et al. (2012), no qual obtiveram produtividade estimada de 157,3 t ha⁻¹, variedade RB 867515, com um VTA de 971 mm; e Carvalho et al. (2009), que obtiveram 93,5 t ha⁻¹ para variedade SP 791011 com VTA de 1168,0 mm.

A análise de regressão evidenciou um comportamento quadrático para as médias de

rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) em função da reposição hídrica ($R^2 = 0,98$) (Figura 18). O máximo rendimento estimado foi com uma reposição hídrica de 80,23%, representando resposta 37,9% superior ao manejo de sequeiro (RH 0%), que alcançou 22,15 t ha⁻¹ de açúcar, evidenciando queda de 2,3% em relação a RH 100%. O mesmo foi observado por Dalri *et al.* (2008), que observaram queda da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com a variedade RB 72454 quando utilizaram uma lâmina de irrigação 130 mm superior ao tratamento controle. O incremento alcançado em relação às plantas com déficit hídrico foi semelhante ao obtido por Gava *et al.* (2011), que observaram acréscimo de 57% com a variedade RB 855536 sob um VTA de 1.714 mm, obtendo rendimento de 24,7 t ha⁻¹ de açúcar. A máxima resposta de RBAÇ foi inferior aos rendimentos das variedades RB 92579 e SP 813250 obtidos por Oliveira et al. (2011b), de 42,6 e 37,3 t ha⁻¹, respectivamente, com um VTA de 1396,6 mm. A média dos valores estimados para RBAÇ obtido no experimento foi de 31,12 t ha⁻¹, 12,74% inferior em relação ao máximo rendimento alcançado.

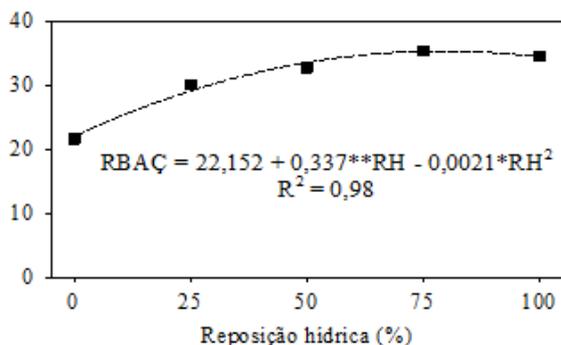


Figura 18. Rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

As respostas dos tratamentos para rendimento bruto de álcool (RBAL), em função da reposição hídrica, adequaram-se a curva quadrática ($R^2 = 0,98$). O ponto máximo da curva se deparou com o rendimento de 25,34 $m^3 ha^{-1}$, valor obtido com a reposição hídrica de 79,67%, ocorrendo um decréscimo de 2,45% na resposta do tratamento com 100% de reposição hídrica. O RBAL médio foi de 22,15 $m^3 ha^{-1}$, e o menor valor encontrado foi de 15,22 $m^3 ha^{-1}$, valor 62,4% inferior ao rendimento máximo (Figura 19).

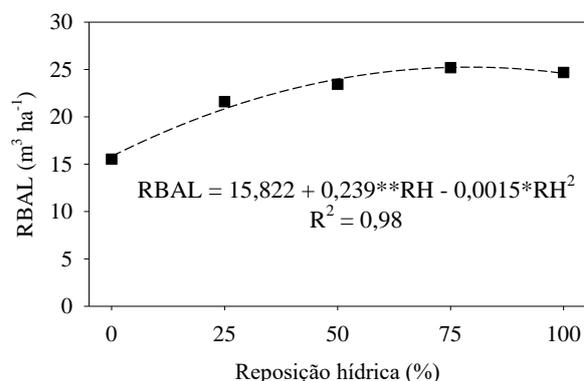


Figura 19. Rendimento bruto de álcool (RBAL) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

O NPI da cana-de-açúcar apresentou crescimento linear em função da RH ($R^2 =$

0,9282). A máxima resposta de NPI observada em 100% de RH foi de 24 perfilhos m^{-2} . A irrigação plena (100% de RH) permitiu incrementos de 5,22, 10,44, 15,66 e 20,88%, respectivamente, em relação aos níveis de 0, 25, 50 e 75% de RH (Figura 20).

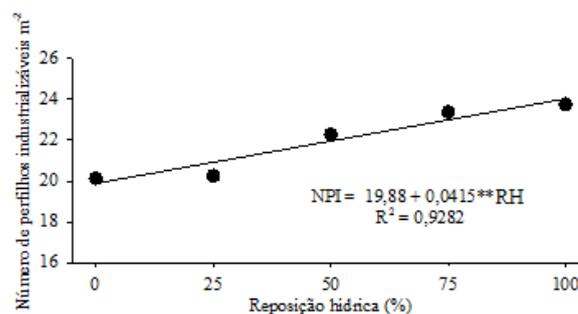


Figura 20. Número de perfilhos industrializáveis da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica.

A produção da cana-de-açúcar pode ser afetada significativamente quando há redução na emissão e sobrevivência dos perfilhos, sobretudo, quando o déficit hídrico ocorre durante o período de estabelecimento da cultura, o número final de colmos é afetado significativamente (ROBSON, 2012).

O fator aplicação de nitrogênio provocou diferença significativa no RBAÇ. Desta forma, obteve-se o valor estimado de 33,36 $t ha^{-1}$ com fornecimento de 100 $Kg ha^{-1}$ de nitrogênio de forma parcelada, resposta 14,1% superior ao valor das parcelas que não receberam aplicação do nutriente ao longo do ciclo da cultura. O RBAL também sofreu interferência significativa da adubação nitrogenada (Tabela 4).

A média dos tratamentos que receberam a aplicação do nutriente foi 14% superior, obtendo rendimento de 23,74 m³ ha⁻¹. Dantas Neto et al. (2006) observaram que a adubação de cobertura nas doses de 157 kg ha⁻¹ de N mais 148 kg ha⁻¹ de K₂O, proporcionaram aumentos significativos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, com acréscimo de 39,8 e 42,2%, respectivamente, para RBAÇ e RBAL, alcançando o rendimento de 12,58 t ha⁻¹ de açúcar e 8,91 m³ ha⁻¹ de álcool.

CONCLUSÕES

1. A reposição hídrica de 100% via gotejo subsuperficial possibilitou o incremento de 40% na produtividade de colmos em relação ao manejo de sequeiro.
2. A aplicação de N-ureia parcelado ao longo do ciclo de cultivo permitiu melhoria nos índices tecnológicos da cana-de-açúcar, representado acréscimo de 12,74% e 14,1%, respectivamente, no rendimento bruto de açúcar e álcool.
3. A ausência de reposição hídrica via IGS provocou reduções severas na fitomassa total da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, resultando na queda de 26% em relação ao nível de RH de 100%. Foi observada alta eficiência pelas plantas na assimilação dos carboidratos produzidos na fotossíntese, atribuído ao alto rendimento de colmo em relação à fitomassa do ponteiro com 100% de reposição hídrica.
- 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: **Informe 2011**. Brasília: ANA, 2011, 112p.
- AGUIAR, F. Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana. **Agrianual 2002**, São Paulo, p.256-7, 2002.
- ALONSO, O. Raio x dos canaviais: Censo revela variedades mais cultivadas. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ed. 39. Ano IV. p. 20821, set. 2009.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.1, p.76-84, 2012.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2008.
- BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.952–958, 2012.
- BARBOSA, F. S. Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo. 2010. 81 p. **Dissertação** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- BARBOSA, F. S. Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo. **Dissertação** (Mestrado). Escola Superior

- de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Esalq, Piracicaba - SP, 81 p., 2010.
- BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.700–707, 2009.
- BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MARIN, F. R.; POLZER, D. L.; NETTO, A. O. A. Utilização do modelo canegro para estimativa de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada para as regiões de Gurupi – TO e Teresina – PI. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 189 – 207. 2012.
- BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-60, 1919.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; PAIVA, P.R.P. & MONTE, M.B.M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 794-800, 2008.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; PAIVA, P.R.P. & MONTE, M.B.M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 794-800, 2008.
- BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agronegocio.goias.gov.br/docs/porta/portal/seminarioIII.pdf>>. Acesso em 11 out. de 2008.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 611 p. 2005.
- BONNET, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 57, p. 1087-1095, 2006.
- BUENO JUNIOR M. V. Variação de teores de fósforo disponível em solos cultivados com cafeeiros na região de Muzambinho. 2008. 29f. – **Trabalho de Conclusão de Curso** (TCC do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho Muzambinho/MG, 2008.
- 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.
- CARVALHO, C. M. de; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. de A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n., p.72-77, 2009.
- CARVALHO, C. M. de; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. de A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n., p.72-77, 2009.

- CARVALHO, C.M. de; AZEVEDO, H.M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. de A.; SILVA, C.T.S. da; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana -de -açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.72 -77, 2009.
- CARVALHO, L. C. C. Cana-de-açúcar, um mundo de oportunidades. **Atualidades Agrícolas**, São Paulo, v. 2, n. 1, abr. p. 4-9, 2004.
- CASAGRANDE, A.A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: **Funep**, 1991. 157p.
- CASTRO, P.R.C.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A. F. Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico. Maceió: **Insecta**, 2005, p. 3-48.
- CHAVES, M.M; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551-560,2008.
- COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192p. Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- COSTA, C.T.S. Crescimento, pigmentos fotossintéticos e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), no quarto ciclo de cultivo. 2009. 51 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de **Ciências Agrárias**. Rio Largo, 2009.
- DALRI, A. B. Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos. 2004. 89p. **Tese** (Doutorado) - UNESP, Botucatu, 2004.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.
- DALRI, A. B.; DUENHAS, L. H.; GARCIA, C. J. B.; CRUZ, R. L. Subsurface Drip Irrigation on Sugarcane Yield and Quality. **Irriga**, v. 13, n.1, p. 1-11, 2008.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEIRÊDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A. DE; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, 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**, v.10, n.2, p.283-288, 2006.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO J.L. da C.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, 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**, v.10, p.283 -288, 2006.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A. AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. 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, 2006.
- 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.
- DEVOS, K. M. Grass genome organization and evolution. *Curr Opin Plant Biol*. 2010, vol. 13, pp. 139-145.

- DEVOS, K. M. Grass genome organization and evolution. **Current Opinion Plant Biology**, v. 13, pp. 139-145, 2010.
- DIAS, C. M. O.; CORSATO, C. E.; SANTOS, V. M.; SANTOS, A. F. S. Indicadores fitotécnicos, de produção e agroindustriais em cana de açúcar cultivada sob dois regimes hídricos. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 58-65, jul-set., 2012.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BOREM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV. p. 25-49, 2010.
- DOOREMBOS, J. & KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas, Estudos FAO Irrigação e Drenagem**. Série n.33, p. 42-53. 1979.
- DUARTE, A. M. A. Crescimento e maturação da cana-de-açúcar, sob condições de cultivo irrigado, em Janaúba – MG. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, 2009, 57 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- ENCISO, J.; JIFON, J. A.; WIEDENFELD, B. Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. In: **Texas: A&M University Agricultural Research and Extension Center Weslaco Texas**, United States, Jul. 2007.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas**. Londrina: [s.n.], 2006. 402p.
- FARIAS, C. H. A. DE; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M. DE; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356-362, 2008.
- FARIAS, C. H. A.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na paraíba, **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2008.
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2763-2770, 2008.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. . Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p. 29-41, 2011.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. . Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in

- Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p. 29-41, 2011.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: reflexos do plantio à colheita. In: CRUSCIOL, C. A. C. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. 111 p.
- FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; FERREIRA, C. S.; ANDRADE, R. R. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conex. Ci. e Tecnol.**, v. 6, n. 1, p. 27-43, 2012.
- FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; FERREIRA, C. S.; ANDRADE, R. R. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum* l.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conex. Ci. e Tecnol.** Fortaleza/CE, v. 6, n. 1, p. 27-43, mar. 2012.
- FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhico remanescente de colheita mecânica. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.15, p.24-27, 1997.
- GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66. 2010.
- GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R.A.M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: Carlos Alexandre Costa Crusciol. (Org.). **Tópicos em Ecofisiologia da Cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 2010, v. 1, p. 49-66.
- GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.
- GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.
- GHANNOUM, O. C4 Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v. 103, p. 635-644, 2009.
- GILBERT, R. A.; SHINE JÚNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.
- GILBERT, R.A.; SHINE JUNIOR, J.M.; MILLER, J.D.; RICE, R.W.; RAINBOLT, C.R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida,USA. **Field Crops Research**, v.95, p.156-170, 2006.
- CASAGRANDE, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: **Funep**, 1991. 157p.
- GOUVÊA, J. R. F. Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP. 2008. 98 p. **Dissertação** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

- HERNANDEZ, M. G. R. Proteção de gotejadores a obstrução por intrusão radicular em irrigação subsuperficial de figueiras. 2010. 135 f. **Tese** (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria.
- INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M.L.; JINGSHENG X. Source–sink differences in genotypes and water regimes influencing sucrose accumulation in sugarcane stalks. **Crop and Pasture Science**, v.60, n.4, p.316-327, 2009.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185–202, 2005.
- JALOTA, S. K.; SOOD, A. G. B. S.; CHAHAL, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, v.84, p.137-146, 2006.
- KÖLLN, O. T. Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ¹³C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar. 2012. 102 p. **Dissertação** (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- KAJIHARA, D. et al. Functional characterization of sugarcane mustang domesticated transposases and comparative diversity in sugarcane, rice, maize and sorghum. **Genet. Mol. Biol.**, v. 35, n. 3, 2012.
- KAJIHARA, D. et al. Functional characterization of sugarcane mustang domesticated transposases and comparative diversity in sugarcane, rice, maize and sorghum. **Genet. Mol. Biol.**, São Paulo, v. 35, n. 3, 2012.
- KOHLHEPP, G.; Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**. n°24. v. 68. São Paulo, 2010.
- KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ¹³C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 104 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; CARDOSO, K. Aplicação do silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p.8-11.
- KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; CARDOSO, K. Aplicação do silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p.8-11.
- 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.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: **RiMa**, 2000. 531 p.
- LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar após

- aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 129-138, jan./mar. 2011.
- LELIS NETO, J. A. Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônico e atributos físicos e químicos de um Nitossolo. 138p. 2012. **Tese** (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- LEVIEN, S. L. A.; MIRANDA, J. H.; BEZERRA, A. H. F. **Estimativa de dimensões de volume de solo molhado na irrigação por gotejamento superficial em solo de textura média: condição inicial de solo seco**. In: IV WINOTEC (Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação), 2012, Fortaleza. Resumos do IV WINOTEC (Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação). Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada (INOVAGRI), 2012, v.4, CD-ROM.
- LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELLO, J. M.; JUAN, J. A. DE; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v.98, p.190-198, 2010.
- MACHADO, R. S. et al. Fotossíntese e conteúdo foliar de carboidratos em cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ECO FISILOGIA, MATURAÇÃO E MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR, 2008, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, 2008. p. 1-5.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. OLIVEIRA, S. C. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, Potafos, 317p. 1997.
- MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da SDI. **Colloquium Agrarian**, v.2, p.17-31, 2006.
- MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JUNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, v.58, p.295-301, 2001.
- MOURA, M.V.P. da S.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, C.A.V. de; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M. de; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotécnica**, v.29, p.753 -760, 2005.
- NG KEE KWONG, K. F.; PAUL, J. P.; DEVILLE, J. Drip-fertigation - a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, v. 35, n. 1, p. 31-37, 1999.
- NOGUEIRA, R. C.; PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M.; GAVILANES, M. L. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.
- OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionada a adubação nitrogenada**. 2011. 213 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. de; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T. da; CARVALHO, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; NETO, D. E. S.;

- ROCHA, A. CARVALHO, T.; L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.46, n.6, p.617-625, jun. 2011.
- 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**, v. 14, n. 9, p. 951–960, 2010.
- OLIVEIRA, E. L. de; ANDRADE, L. A. de B.; FARIA, M. A. de; EVANGELISTA, A. W. P.; MORAIS, A. R. de. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.11, p.1398-1403, 2009.
- 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; GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **J Plant Nutr Soil Sci**, v. 0, p. 1–12, 2013.
- OLIVÉRIO, J. L. **Brazilian sugar cane sector – evolution, trends, sustainability**. São Paulo, 2008.
- OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17p.
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência da adubação N P K nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.96, n.3, p.37-44, 1980.
- PARK, S. E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N. G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.
- PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, v.29, p.331-339, 2010.
- PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; EHOLPANKULOV, E. D.; INCHENKOVA, O. P.; TEODORO, P. R.; HORST, M. G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. **Agricultural Water Management**, v. 96, p.723-735, 2009.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. O setor sucroalcooleiro no Brasil. In: RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Os autores, 2007. p. 1-15
- ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.
- RENOUF M. A.; WEGENER M. K.; NIELSEN L. K. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 32, p. 1144–1155, 2008.
- ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.

- ROBSON M. **Relações hídricas na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar submetida a déficit hídrico variável**. Piracicaba, Dissertação - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq), 2012.
- ROSSETO, R.; KORNDÖRFER, G. H.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O. et al. **Tecnologia na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. p. 125-140.
- SANTOS, M. J. DOS; ARAÚJO, L. E.; OLIVEIRA, E. M.; SILVA, B. B. Seca, precipitação e captação de água de chuva no semiárido de Sergipe. *Engenharia Ambiental*, v.6, p.55-73, 2009.
- SEGATO, S.V. et al. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p.19-36.
- SILVA, J. G. F.; COELHO, E. F. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. de F. S. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória-ES: Incaper, p. 163-198. 2003.
- SILVA, M. A.; GAVA, G. J. C.; CAPUTO, M. M.; PINCELLI, R. P.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. *Bragantia*, v.66, p. 545-552, 2007.
- SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. *Bragantia*, v. 67, n. 3, p. 656-661, 2008.
- SILVA, M. de A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, v.51, p. 457-466, 2004.
- SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 3, p. 500-509, jul-set, 2012
- SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M. & ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. *Tree Physiol.*, 25:1469-1472, 2004.
- SINGH, P. N.; MOHAN, S. C. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical region. *Agricultural Water Management*, v. 26, n.4, p. 253-264, 1994.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp.* hybrid complex) in subtropical India. *Agricultural Water Management*, v. 90, p. 95–100, 2007.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp.* Hybrid complex) in subtropical India. *Agricultural Water Management*, v.90, p.95 - 100, 2007.
- SMEETS, E. M. W.; BOUWMANW, L. F.; STEHFEST, E. VAN VUUREN, D. P.; POSTHUMA, A. Contribution of N₂ O to the greenhouse gas balance of first generation biofuels. *Global Change Biology*, Oxford, v. 15, p. 1–23, 2009.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water

- stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOARES, R. A. B.; CARDOSO, H. R. Irrigação de salvamento em cana-de-açúcar In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. S. **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP 2, 2007. p. 281-293
- 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.
- SOUZA, C.F; FOLEGATTI, M.V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, v. 27, p. 277–288, 2009.
- TAKEI, K.; TAKAHASHI, T.; SUGIYAMA, T.; YAMAYA, T.; SAKAKIBARA, H. Multiple routes communicating nitrogen availability from roots to shoots: a signal transduction pathway mediated by cytokinin. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.971-977, 2002
- TEIXEIRA, M. B.; MELO, R. F. de; COELHO, R. D.; RETTORE NETO, O.; RIBEIRO, P. A. de A. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 235-248, 2008.
- VITTI, A. C. et al. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 239-270.
- WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south texas. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 665-671, 2008.
- WIEDENFELD, R.P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, v.43, p.173 -182, 2000.
- WIEDENFELD. B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 665-671. 2008.