

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DE
SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO**

Autor: Bruno Araújo Alves
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
Julho - 2014

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DE
SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO**

Autor: Bruno Araújo Alves
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

RIO VERDE - GO
Julho – 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
Elaborada por Izaura Ferreira Neta - Bibliotecária CRB1-2771

A477d Alves, Bruno Araújo.

Desempenho agrônômico e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água e nitrogênio - 2014.

66f. : ils. figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira.

Dissertação (Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, 2014.

Biografia.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Cana-de-açúcar. 2. Gotejamento. 3. Agronomia. I. Título. II. Autor.
III. Orientador.

CDU: 633.61+631.41.8

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E
PRODUTIVIDADE DE SOQUEIRA DE CANA-DE-
AÇÚCAR SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE
ÁGUA E NITROGÊNIO**

Autor: Bruno Araújo Alves
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 16 de JULHO de 2014.

Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador externo
CENA USP/SP

Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano/RV

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, tias e tios, por sempre me incentivarem e dar todo suporte para a minha busca por um futuro melhor.

À minha família, amigos e a todas as pessoas que estiveram presentes nesta passagem muito importante de minha vida.

À equipe do laboratório de irrigação, responsáveis pelo trabalho em conjunto do qual esta dissertação é fruto.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por iluminar meu caminho, proporcionar paciência, saúde, força e compreensão, fatores fundamentais para superar as horas mais difíceis de minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e incentivo à pesquisa e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo financiamento do projeto.

Aos meus pais, José e Vilma, pelos ensinamentos, exemplos de personalidade e apoio incondicional em todas as etapas de minha vida, por me fornecer condições de prosseguir meus estudos e pela determinação a mim prestada, sem a qual não teria conseguido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, pela orientação, amizade e confiança a mim depositadas, além da oportunidade de conhecer novos horizontes para prosseguir minha jornada.

Aos Profs. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares e Dr. Adriano Jakelaitis, por estarem sempre disponíveis e dispostos a ajudar e colaborar para que o trabalho fosse realizado da melhor forma possível.

A todos os demais professores e servidores vinculados ao Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pelo trabalho e suporte a mim prestados durante o curso.

À Adriene, Lailla e Renata, pela amizade, companheirismo, incentivo e pela presença constante nos momentos de alegria e de dificuldade.

Aos demais e não menos importantes amigos, colegas de mestrado e estagiários do Laboratório de Irrigação, Renato, Murilo, João Paulo, Nathália, Álefe, Nelmício, Fabiano, Fernando, Severino, Janaína, Thiago, pela colaboração, convívio e amizade.

A todos os familiares, que de uma forma ou de outra, contribuíram para concretização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Bruno Araújo Alves, nascido em Indiara - Goiás, porém criado até os 14 anos de idade em Jandaia - Goiás, filho de José Alves Esteves e Vilma Araújo Alves, mudou para Rio Verde - Goiás no ano de 2004, e iniciou sua formação acadêmica no CEFET de Rio Verde, com o curso Técnico em Agropecuária, concluído em 2006 juntamente com o ensino médio.

Já no ano de 2007 é aprovado no vestibular para ingresso na primeira turma do curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, concluindo o mesmo em 2011.

Paralelo à graduação, desenvolveu projetos de iniciação científica juntamente com alguns professores, servindo-lhe de base para sua formação acadêmica e despertando seu interesse pela ciência.

Em 2012 foi aprovado como aluno regular do curso de Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia da mesma instituição de ensino, com pretensões de defesa de título para o ano de 2014.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A Cultura da Cana-de-açúcar.....	3
2.2 Deficiência Hídrica na Cultura da Cana-de-açúcar.....	4
2.3 Irrigação e Fertirrigação por Gotejamento Subsuperficial.....	6
2.4 Biometria da Cana-de-açúcar.....	8
3 OBJETIVO GERAL.....	10
3.1 Objetivos específicos.....	10
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1 Localização e Caracterização da Área Experimental.....	11
4.2 Delineamento Experimental.....	13
4.3 Cultivo e Tratos Culturais.....	13
4.4 Sistema de Irrigação.....	14
4.5 Manejo da Irrigação e Fertirrigação.....	16
4.6 Balanço Hídrico.....	18
4.7 Avaliações Biométricas.....	19
4.8 Colheita.....	20
4.9 Análise Estatística.....	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 Variáveis Biométricas.....	22
5.2 Variáveis Produtivas.....	32
6 CONCLUSÕES.....	38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

ÍNDICE DE TABELAS

		Página
Tabela 1.	Características químicas do solo da área experimental: potencial de hidrogenação (pH), matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), porcentagem de saturação por bases (V).....	12
Tabela 2.	Características físico-hídricas do solo da área experimental: umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), densidade aparente do solo (Ds), porosidade total (PT).....	12
Tabela 3.	Volumes de água aplicados para cada nível de reposição hídrica.....	19
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para altura de planta (cm), diâmetro de colmo (mm) e área foliar (cm^2) da soqueira da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio, aos 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após a colheita (DAC).....	23
Tabela 5.	Resumo da análise de variância para número de plantas (NPL) e número de perfilhos (NPE) da soqueira da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio, aos 90, 105, 120, 135, 150 e 165 DAC	30
Tabela 6.	Resumo da análise de variância para os índices tecnológicos do caldo da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio.....	33
Tabela 7.	Resumo da análise de variância para produtividade de colmos (PCH), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ), rendimento bruto de álcool (RBAL) e eficiência de uso da água (EUA) da soqueira de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista aérea das parcelas na área experimental do IF Goiano – Rio Verde, GO.....	11
Figura 2. Esquema de distribuição das parcelas correspondentes aos respectivos tratamentos na área experimental.....	13
Figura 3. Representação esquemática do espaçamento utilizado no dimensionamento das parcelas (A); e visão da parcela com o plantio em linha dupla (B).....	14
Figura 4 Representação esquemática da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.....	15
Figura 5 Malha hidráulica do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.....	15
Figura 6. Croqui de instalação dos tensiômetros.....	17
Figura 7. Balanço hídrico da soqueira da cana-de-açúcar em manejo de sequeiro.....	18
Figura 8. Demarcação da área útil das parcelas experimentais.....	19
Figura 9. Altura de plantas da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica dentro de cada aplicação de nitrogênio (A) e da aplicação de nitrogênio dentro de cada reposição hídrica (B), aos 300 dias após a colheita (DAC).....	24
Figura 10. Altura de planta da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 90 (A), 120 (B), 150 (C), 180 (D), 210 (E), 240 (F), 270 (G) e 330 (H) dias após a colheita (DAC).....	25
Figura 11. Diâmetro de colmo da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 90 (A), 120 (B), 150 (C), 180 (D), 270 (E), 300 (F) e 330 (G) dias após a colheita (DAC).....	26
Figura 12. Área foliar da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica dentro de cada aplicação de nitrogênio (A, C) e da aplicação de nitrogênio dentro de cada reposição hídrica (B, D), aos 90 e 210 dias após a colheita (DAC).....	28
Figura 13. Área foliar da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 120 (A), 150 (B), 180 (C), 240 (D), 270 (E), 300 (F) e 330 (G) dias após a colheita (DAC).....	29
Figura 14. Número de plantas (unidades m^{-1} linear) da soqueira de cana-de-	

	açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 105 (A), 120 (B), 135 (C), 150 (D) e 165 (E) dias após a colheita (DAC).....	31
Figura 15.	Número de perfilhos (unidades m^{-1} linear) da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 90 (A) e 105 (B) dias após a colheita (DAC).....	32
Figura 16.	Produtividade de colmos (PCH) da soqueira de cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.....	35
Figura 17.	Rendimento bruto de açúcar (RBAC _ç) da soqueira de cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.....	36
Figura 18.	Rendimento bruto de álcool (RBAL) da soqueira de cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.....	37

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

A.....	Área da parcela irrigada
AF.....	Área foliar (cm ²)
AP.....	Altura de planta (cm)
AR.....	Açúcares redutores (%)
ARL.....	Açúcares redutores livres (%)
ATR.....	Açúcar total recuperável (kg Mg ⁻¹)
BRIX.....	Teor de sólidos solúveis totais (%)
Ca.....	Cálcio
cm.....	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CRA.....	Curva de retenção de água no solo
CTC.....	Capacidade de troca de cátions
CV.....	Coefficiente de variação (%)
DAC.....	Dias após a colheita
DC.....	Diâmetro de colmo (mm)
DEF.....	Déficit hídrico
Dp.....	Densidade de partículas (g cm ⁻³)
Ds.....	Densidade aparente do solo (g cm ⁻³)
Et ₀	Evapotranspiração de referência
ETc.....	Evapotranspiração da cultura
EUA.....	Eficiência de uso da água (mm Mg ⁻¹ ha ⁻¹)
F.....	Fator de transformação estequiométrica
Fg.....	Fator de Gay Lussac
FIBRA.....	Teor de fibra (%)
GL.....	Grau de liberdade

$g\ kg^{-1}$	Gramas por quilo
H + Al	Hidrogênio + Alumínio
h	Hora
K	Potássio
K_2O	Cloreto de potássio
kPa	Kilopascal
$L\ ha^{-1}$	Litros por hora
L	Litros
LA	Lâmina aplicada (mm)
LL	Lâmina a ser aplicada (mm)
m	Metro
M.O.	Matéria orgânica
m^2	Metro quadrado
$m^3\ h^{-1}$	Metros cúbicos por hora
m^3	Metro cúbico
$Mg\ ha^{-1}$	Megagrama por hectare
Mg	Magnésio
mm	Milímetros
N	Nitrogênio
NPE	Número de perfilhos (unidades m^{-1} linear)
NPL	Número de plantas (unidades m^{-1} linear)
P	Fósforo
P_2O_5	Superfosfato simples
PBU	Peso do bolo úmido (g)
PC	Pol da cana (%)
PCC	Quantidade de açúcar bruto contido nos colmos (%)
PCH	Produtividade de colmos ($Mg\ ha^{-1}$)
PE	Precipitação efetiva (mm)
pH	Potencial de hidrogênio
POL	Teor de sacarose aparente do caldo (%)
PT	Porosidade total ($cm^3\ cm^{-3}$)
PUREZA	Pureza do caldo (%)
Q	Vazão do sistema ($m^3\ h^{-1}$)

RBAC	.....	Rendimento bruto de açúcar (Mg ha^{-1})
RBAL	.....	Rendimento bruto de álcool ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
RH	.....	Reposição hídrica (%)
SB	.....	Soma de bases ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
V	.....	Saturação por bases (%)
VTA	.....	Volume total de água aplicado pela irrigação (mm)
Z	.....	Profundidade do solo (cm)
θ_{cc}	.....	Umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
θ_{pmp}	.....	Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente
Ψ_m	.....	Potencial matricial (mca)

RESUMO

ALVES, BRUNO ARAÚJO. Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, julho de 2014. **Desempenho agrônômico e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água e nitrogênio.** Orientador: Marconi Batista Teixeira. Coorientador: Adriano Jakelaitis.

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas exploradas no Brasil por sua grande importância socioeconômica. A intensificação dos cultivos da cana-de-açúcar, sobretudo para áreas consideradas marginais, no que diz respeito à fertilidade natural do solo e à disponibilidade hídrica, e os aspectos técnico-econômicos requerem maior eficiência concernente à aplicação de água e nutrientes, em especial nitrogênio (N). Desta forma, objetivou-se neste estudo avaliar os índices biométricos, os parâmetros de produtividade e a eficiência de uso da água na cultura da cana-de-açúcar durante o ciclo da primeira soqueira, em resposta à aplicação de diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. O experimento foi conduzido na área experimental do IF Goiano – Rio Verde, Goiás, em latossolo vermelho distroférrico. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0%), combinados com e sem aplicação de fertilizante nitrogenado (zero e 150 kg ha⁻¹), na forma de ureia, utilizando a variedade RB 85-5453. O ciclo teve duração de 396 dias, ocorrendo precipitação efetiva de 1.015 mm, com fornecimento máximo de 460 mm através da irrigação. Foram avaliados: AP, DC, AF, NPL, NPE, PCH, RBAÇ, RBAL e EUA. Para a aplicação de N não houve efeito significativo sobre as variáveis avaliadas para a produtividade da cana-de-açúcar, enquanto os níveis de reposição hídrica surtiram efeito linear crescente sobre PCH, RBAÇ e RBAL, obtendo incremento estimado de 16,42 Mg ha⁻¹ de colmos, 2,52 Mg ha⁻¹ de açúcar e 1,77 m³ ha⁻¹ de álcool, a cada RH avaliado. A EUA não demonstrou interferência significativa para nenhum dos fatores avaliados.

PALAVRAS-CHAVES: *Saccharum* spp., cerrado, gotejamento, latossolo, restrição hídrica.

ABSTRACT

ALVES, BRUNO ARAÚJO. Goiás Federal Institute - Campus Rio Verde - GO, July 2014 **Agronomic performance and productivity os ratoon cane sugar under different levels of water and nitrogen roductivity**. Advisor: Marconi Batista Teixeira. Co - advisor: Adriano Jakelaitis.

The cane sugar is one of the main crops grown in Brazil because of its great socioeconomic importance. The intensification of cultivation of cane sugar, especially in areas considered marginal with respect to the natural soil fertility and water availability, and the technical and economic aspects require higher efficiency concerning the application of water and nutrients, especially nitrogen (N). Thus, the aim of this study was to evaluate the biometric indices, parameters of productivity and efficiency of water use in the culture of cane sugar during the first ratoon cycle, in response to the application of different levels of water replacement, with and without nitrogen, using the system of subsurface drip irrigation. The experiment was carried out in the experimental area of the IF Goiano - Rio Verde, Goias, in one oxisol. There were used the design of randomized blocks, factorial 5 x 2 design with four replications. The treatments were five levels of water replacement (100, 75, 50, 25 and 0%), combined with and without application of nitrogen fertilizer (zero and 150 kg ha⁻¹) in the form of urea, using a variety RB 85-5453. The cycle lasted 396 days, occurring effective rainfall of 1,015 mm, with maximum supply of 460 mm through irrigation. There were evaluated: AP, AD, AF, NPL, NPE, PCH, RBAC, RBAL, and EUA. For the application of N there was no significant effect on the variables evaluated for productivity of cane sugar, while the levels of water replacement have produced increasing linear effect on PCH, RBAC and RBAL, obtaining estimated increase of 16.42 Mg ha⁻¹ of stalks, 2.52 Mg ha⁻¹ of sugar and 1.77 m³ ha⁻¹ of alcohol, for each evaluated RH. The EUA has not demonstrated significant interference for any of the factors evaluated.

Key-words: *Saccharun* spp., cerrado, drip, latosol, water restriction.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar por causa de sua grande importância socioeconômica é uma das principais culturas exploradas no Brasil, utilizada principalmente para produção de açúcar e etanol (KAJIHARA et al., 2012). Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial desta cultura, além de ser líder mundial na utilização desta planta como fonte de energia renovável.

Por outro lado, 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. Por esse motivo, muitos esforços têm sido realizados para melhorar a produtividade de cultivos agrícolas sob condições de seca (CATIVELLI et al., 2008). A deficiência hídrica é ainda uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LAWLOR & CORNIC, 2002).

Vários outros fatores interferem na produção e maturação da cultura da cana-de-açúcar, dentre os quais se destacam as condições edafoclimáticas, o manejo da cultura e a cultivar escolhida (CESAR et al., 1987). Entre os fatores ambientais que mais influenciam na conversão de energia em açúcar na cana-de-açúcar pode-se citar: a energia solar (intensidade e qualidade); a concentração de CO₂; a temperatura; a disponibilidade de água e de nutrientes, em especial o nitrogênio (N), que possui grande importância, por ser acumulado em grandes quantidades. Dentre os nutrientes, o N é um dos absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar, sendo superado apenas pelo potássio (K). A cultura da cana-de-açúcar é altamente responsiva à irrigação e à adubação, que reflete no incremento da produtividade da cultura (SINGH et al., 2007).

Entre os métodos de irrigação da cultura da cana-de-açúcar, o localizado se destaca pelo menor consumo de água e energia. No sistema subterrâneo os tubos gotejadores são instalados entre 20 e 40 cm de profundidade e se localizam entre, ou próximos à linha da cana. O sistema permite o fornecimento de água durante todo o ciclo, de forma controlada, e a fertilização se dá de forma parcelada, permitindo maior eficiência dos fertilizantes.

A intensificação dos cultivos da cana-de-açúcar, sobretudo para áreas consideradas marginais, no que diz respeito à fertilidade natural do solo e à disponibilidade hídrica, e os aspectos técnico-econômicos requerem maior eficiência concernente à aplicação de água e nutrientes, em especial nitrogênio (N).

Desta forma, objetivou-se neste estudo avaliar os índices biométricos, os parâmetros de produtividade e a eficiência de uso da água na cultura da cana-de-açúcar durante o ciclo da primeira soqueira, em resposta à aplicação de diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta perene pertencente à família Poaceae, gênero *Saccharum*. As principais características morfológicas deste gênero são: crescimento do caule em colmos, folhas que possuem lâminas de sílica nas suas bordas e bainhas abertas. O hábito de crescimento da cana-de-açúcar pode variar de ereto, semidecumbente a decumbente, de acordo com a característica da variedade (MASCHIO, 2011). Esta cultura apresenta metabolismo fotossintético C4, que em temperaturas mais elevadas (30 a 40 °C), possuem alto desempenho do metabolismo de fotossíntese com maior eficiência do uso de água (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Os primeiros relatos do cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) provêm da Nova Guiné difundindo-se, progressivamente para a China e Índia (FAUCONNIER, 1991) e chegou ao Brasil na metade do século XVI. Atualmente é uma das principais culturas agrícolas do país e, do seu processo industrial, obtém-se o açúcar e suas derivações como o álcool anidro e hidratado, o vinho, a levedura de cana (FIESP-CIESP, 2006) e o bagaço, que é resultado do acúmulo de fitomassa, considerado como resíduo industrial e que pode ser utilizado para produção de energia elétrica através do processo de cogeração de energia (FREITAS et al., 2012).

A questão do abastecimento energético vem ganhando grande importância em todo o mundo, principalmente com o questionamento da longevidade dos combustíveis fósseis e a preocupação com o Aquecimento Global em razão de emissões indiscriminadas de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. É imprescindível, portanto, que haja o direcionamento na substituição de fontes não renováveis para fontes alternativas renováveis e limpas na matriz energética mundial. Nesse contexto, a cana-de-açúcar se

apresenta como forte alternativa renovável de energia, e o Brasil desponta como líder mundial nas exportações de açúcar, e na utilização da cana como fonte de energia renovável, principalmente pela crescente participação dos veículos bicombustíveis na frota automotiva brasileira (COSTA, 2009).

Segundo dados da CONAB (2014), a área cultivada com cana-de-açúcar colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 foi de 8.811.043 hectares, distribuída em todos estados produtores. Os três maiores estados produtores são: São Paulo com 52,07% (4.419.048 hectares), seguido por Goiás com 8,55% (725,91 mil hectares) e Minas Gerais com 8,51% (721,88 mil hectares).

O rendimento médio da cultura no país deu um surpreendente salto. Desde 1975, momento a partir do qual houve a primeira grande expansão da cultura com a criação do PROÁLCOOL, até a presente safra de 2013/2014, o rendimento médio cresceu de 47 Mg ha⁻¹ para 74 Mg ha⁻¹. A explicação está baseada no aprimoramento de vários componentes, tais como o melhoramento genético, manejo do solo, irrigação, adubação e de outras práticas agrícolas da cultura.

O total de cana moída na safra 2013/14 foi de 658,8 milhões de toneladas, com aumento de 11,9% em relação à safra 2012/13, que foi de 588,91 milhões de toneladas, significando que a quantidade moída será 69,9 milhões de toneladas a mais que na safra anterior (CONAB, 2014).

A produção de açúcar chegou ao montante de 37,88 milhões de toneladas na safra 2013/2014, com mais da metade da produção proveniente da região sudeste do país (73,1%). Já a produção de etanol total fechou em 27,96 bilhões de litros, sendo que 11,82 bilhões de litros foram de etanol anidro e 16,13 bilhões de litros de etanol hidratado (CONAB, 2014).

2.2 Deficiência Hídrica na Cultura da Cana-de-açúcar

A água é uma substância essencial para a produção vegetal, pois tanto a falta quanto o excesso prejudicam o crescimento e desenvolvimento das plantas. O déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semiáridas do mundo (CLAY et al., 2005), pois mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento das culturas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Nesse contexto, ressalta-se que a cana-de-açúcar apresenta elevado consumo de água, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta. Dessa forma, a disponibilidade de água no solo governa a produção vegetal, sendo que a sua disponibilidade afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas (REICHARDT, 1996), além de afetar a absorção dos nutrientes e da própria água (HUMBERT, 1968). Inman-Bamber & Smith (2005) relatam que para a cana-de-açúcar, os períodos em que o déficit hídrico pode resultar em maiores danos à produtividade da cultura são nos estádios de perfilhamento e de crescimento, em que até mesmo uma pequena redução na disponibilidade de água do solo pode afetar tanto a divisão quanto o alongamento celular das plantas.

O déficit hídrico na planta ocorre, primordialmente, quando a taxa de transpiração é superior a de absorção de água, sendo comum durante o ciclo da cana-de-açúcar (BARBOSA, 2010). E a deficiência hídrica afeta em vários aspectos o metabolismo da cultura, inclusive na fotossíntese (CHAVES et al., 2008).

Quando a ocorrência do déficit hídrico é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a sobrevivência da planta dependerá da sua capacidade em se ajustar rapidamente à situação de estresse. Mesmo se ajustando, a taxa de crescimento tende a ser diminuída pelo custo energético dos processos de adaptação (GHOULAM et al., 2002). Restabelecidas as condições hídricas favoráveis a planta tende a recuperar a taxa fotossintética, o crescimento, e o metabolismo em geral, mas não em sua plenitude.

A condição de estresse afeta diversos processos fisiológicos, que levam as plantas a responderem rapidamente mediante o fechamento dos estômatos, que como consequência afeta o suprimento de CO₂ para a fotossíntese, aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, reduz a transpiração, afetando a dissipação da energia térmica e o transporte de nutrientes por fluxo de massa, entre outros (WU & CAMPBELL, 2007). Muitos desses efeitos refletem mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente (HESCHEL & RIGINOS, 2005).

Um dos mecanismos de adaptação de plantas à seca é o acúmulo de solutos osmoticamente ativos na célula, que permite a manutenção do turgor celular (GHOULAM et al., 2002). A manutenção do turgor permite que processos como a condutância estomática e a taxa fotossintética sejam parcialmente mantidos (NEPOMUCENO et al., 1998). Além da manutenção do turgor, o coeficiente de

elasticidade da parede celular também assume papel importante na manutenção do crescimento da planta (PIMENTEL et al., 1999).

Segundo Scardua & Rosenfeld (1987), o consumo de água da cultura da cana-de-açúcar varia em função do estágio de seu desenvolvimento, do ciclo fenológico, do ciclo da cultura (cana-planta ou cana-soca), das condições climáticas e de outros fatores, como água disponível no solo e variedades. A finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender as exigências hídricas durante todo o seu ciclo, possibilitando altas produtividades e produtos de boa qualidade (BERNARDO, 2008). Matioli et al. (1996) classificaram os benefícios da irrigação da cultura da cana-de-açúcar que diretamente estão relacionados ao aumento de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, e indiretamente estão relacionados a redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionado pelo aumento de produtividade.

A irrigação é um dos principais instrumentos responsáveis pela modernização da agricultura brasileira, permitindo enormes benefícios à atividade canavieira (LELIS NETO, 2012). Porém, Levien et al. (2012) ressalta que esta prática agrícola requer uso racional, a fim de se evitar a degradação dos recursos hídricos e edáficos, mas para que seja rentável sua utilização, o aumento de produção de açúcar por cana, em função da irrigação, deve compensar o investimento com o sistema de irrigação, com a energia e com o custo da água utilizada para irrigar (BARROS et al., 2012).

2.3 Irrigação e Fertirrigação por Gotejamento Subsuperficial

Entre os sistemas de irrigação da cultura da cana-de-açúcar, o gotejamento se destaca pelo baixo consumo de água e energia, além de que, quando bem manejado, permite maior eficiência de aplicação de água e nutrientes (fertirrigação). Este sistema pode ser utilizado de duas formas: na superfície ou enterrado, também chamado de sistema de irrigação subsuperficial. No sistema subsuperficial, os tubos gotejadores são instalados entre 20 e 40 cm de profundidade e se localizam entre, ou próximos à linha de plantio da cana-de-açúcar. Caracterizando-se principalmente pela aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura (LAMM & CAMP, 2007).

O sistema de gotejamento subsuperficial apresenta como vantagens em relação ao superficial a flexibilidade do uso de maquinário agrícola; maior dificuldade na germinação de sementes de ervas daninhas, uma vez que o solo se mantém seco na

superfície e a possibilidade de uso de águas salinas e residuárias. (ORON et al., 1991). Outra vantagem relevante do sistema é a maior disponibilidade de nutrientes, uma vez que o ponto de emissão se encontra mais próximo da raiz, fato importante no manejo da fertirrigação. Além de possibilitar o provimento de água às culturas pela aplicação de baixo volume, reduzindo as perdas hídricas nos sistemas de cultivo (PARKES et al., 2010).

O bulbo ou volume úmido do solo é a distribuição de água no volume molhado por gotejamento, sendo uma ferramenta indispensável na determinação de quanto e quando irrigar. O bulbo pode ser medido diretamente em campo, através da abertura de trincheiras ou através de medidas indiretas como tabelas ou modelos. Em razão das características específicas do solo, o uso de tabelas ajustadas para todos, as mesmas nem sempre são adequadas para os solos do Brasil, sendo necessários estudos que os caracterizem. O bulbo tem relação direta na distribuição de nutrientes para a planta. Segundo Li et al. (2003), o nitrato (NO_3^-) é acumulado no limite do bulbo, não importando a taxa de aplicação, nem o volume aplicado. Assim, o conhecimento das dimensões do bulbo é importante também no manejo da fertirrigação, tendo em vista que se o diâmetro do bulbo ultrapassar a região radicular, este não disponibilizará todo o nutriente aplicado à planta.

Guazzelli & Paes (1997) estudaram o comportamento da variedade SP80-1842 (cana-planta), sob condições de irrigação por gotejamento na região de Ribeirão Preto - SP, em um Latossolo Roxo com textura muito argilosa. Obtiveram aumento de produtividade de até 30 Mg ha^{-1} , correspondente ao acréscimo de 20,8% em relação à cana não irrigada. O consumo de água variou de 7.2 a 8.5 mm Mg^{-1} .

A fertirrigação possui a capacidade de melhorar a eficiência na aplicação e absorção dos nutrientes, por serem aplicados de maneira fracionada, conforme a necessidade da cultura (ROBERTS, 2008). Para que o aproveitamento da adubação seja efetivo, deve-se ter conhecimento sobre a época de aplicação, o comportamento do solo, a idade do canal e a distribuição hídrica durante o ciclo (RIPOLI & RIPOLI, 2007).

A vinhaça, subproduto do álcool vêm sendo aplicado nas lavouras como fonte de nutrientes, principalmente o potássio. Sua utilização *in natura* via fertirrigação apresenta efeitos positivos sobre a produtividade agrícola (elevação da produtividade por hectare e prolongamento do ciclo da cana), por causa do aumento na produção de açúcar por hectare, sendo mais acentuado à proporção que se aumenta o número de

cortes (CÓ JÚNIOR, 2008). Barbosa et al. (2012) verificaram que a complementação de nitrogênio e potássio na cana-planta fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial, favoreceu a produção de colmos em relação ao tratamento não irrigado.

As usinas normalmente utilizam a vinhaça na fertirrigação dos canaviais e esta prática traz vários benefícios, e também alguns danos. Assim sendo, a sua utilização nas plantações de cana-de-açúcar vem mudando ao longo dos anos o conceito de que se trata de um agente exclusivamente poluente. Porém, sabe-se que a vinhaça, aplicada ao solo sem critérios, pode causar desequilíbrio de nutrientes, além de induzir a saturação do solo, ocasionando problemas de lixiviação de seus constituintes para águas subterrâneas. Pode-se dizer que a dosagem “ideal” da aplicação de vinhaça varia de acordo com o tipo de solo e variedades de cana-de-açúcar (LELIS NETO, 2008). Portanto, o conhecimento da composição da vinhaça e dos mecanismos de deslocamento dos seus componentes no solo é de fundamental importância, principalmente para orientação quanto às dosagens a serem aplicadas no campo.

A viabilidade da irrigação da cana-de-açúcar em função do uso de irrigação via gotejamento subsuperficial e do uso do sistema para aplicação de vinhaça depende do aumento por área da produção da cana irrigada sobre a não irrigada, levando-se em conta os custos de implantação e os benefícios da fertirrigação (fontes nitrogenadas e aplicação de vinhaça), sem ocorrer em distúrbios de vazão na malha hidráulica pela ocorrência de entupimento de gotejadores.

2.4 Biometria da Cana-de-açúcar

A análise do crescimento da cana-de-açúcar permite aprimorar algumas práticas de manejo, inclusive uma das mais importantes, a adubação (GAVA et al., 2001). As plantas, de modo geral, tem seu crescimento caracterizado pelo aumento irreversível de tamanho e/ou peso, o que confere caráter quantitativo. Já o termo desenvolvimento se contrapõe ao crescimento, pois é mais abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas (diferenciação) e quantitativas experimentadas pela planta durante o seu ciclo (NOGUEIRA et al., 2006). Fatores relacionados à própria planta (cultivares, tipo de ciclo), ao solo (tipo, fertilidade), às práticas culturais (época de plantio, densidade de plantio, rotação de cultura) e, especialmente, às condições climáticas (temperatura, radiação, precipitação) (PARK et al., 2005; BONNET et al., 2006; GILBERT et al.,

2006). Deste modo diversos fatores podem interferir na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar que, no final, representa a integração das diferentes condições a que a cultura ficou sujeita (GILBERT et al., 2006).

Essa análise de crescimento pode ser feita através de amostragens temporais de biomassa da parte aérea ou por meio de índices fisiológicos e biométricos quantificados ao longo do ciclo de crescimento da cultura. Os índices biométricos são importantes para experimentos em condições de campo, pela possibilidade de se obter informações do desenvolvimento das plantas. O desenvolvimento da parte aérea da cana-de-açúcar pode ser dividido em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento e ocorre intenso perfilhamento; fase de crescimento rápido, com surgimento e alongamento de internódios dos colmos, em que se acumulam cerca de 75% da matéria seca; e fase final, ou de maturação quando ocorrem reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos (ROBERTSON et al., 1996; GAVA et al., 2001; INMAN-BAMBER et al., 2002; FRANCO, 2008; FARONI, 2008; OLIVEIRA, 2011). O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de baixas temperaturas ou, ainda, pelo florescimento, dependendo da responsividade de cada genótipo às diferentes condições ambientais (DIOLA & SANTOS, 2010). Entretanto, Gascho (1985) considerou a existência de quatro períodos distintos, compreendendo a brotação após o corte, perfilhamento, fase de grande crescimento, e maturação.

A avaliação de algumas variáveis morfológicas das plantas como, altura, diâmetro, número de plantas por metro linear, área foliar e produção, tornam possível a identificação da capacidade produtiva da cultura, além de analisar os efeitos do manejo cultural adotado sobre a espécie (OLIVEIRA et al., 2010).

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar os índices biométricos, os parâmetros de produtividade e a eficiência de uso da água na cultura da cana-de-açúcar durante o ciclo da primeira soqueira, em resposta à aplicação de diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.

3.1 Objetivos Específicos

- * Identificar o melhor nível de reposição hídrica, associado à presença ou ausência de adubação nitrogenada, que propicie maior produtividade de colmos, de açúcar e de álcool à primeira soqueira de cana-de-açúcar.
- * Identificar o melhor nível de reposição hídrica com e sem adubação nitrogenada que propicie a maior eficiência de uso da água pela primeira soqueira de cana-de-açúcar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido em área experimental pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, GO, situada na latitude 17°48'28" S e longitude 50°53'57" O, com altitude média de 720 metros (Figura 1). O clima da região é classificado conforme Köppen, como Aw (tropical), com chuva 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 relevo é suave ondulado (6% de declividade).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de textura argilosa, fase cerrado (EMBRAPA, 2013). Antes do plantio da cana, em 2011, a área apresentava um histórico de aproximadamente 20 anos com pastagem de *Brachiaria brizantha*.



Figura 1. Vista aérea das parcelas na área experimental do IF Goiano – Rio Verde, GO.

Para a implantação do experimento, o solo foi preparado por meio de aração e gradagem, com posterior calagem e gradagem e instalado o sistema de irrigação por

gotejamento subsuperficial, seguido do plantio da cana-de-açúcar, em março de 2011, utilizando a variedade RB 85-5453. A colheita da cana-planta foi realizada em 15 de maio de 2012, mediante o corte manual em sistema de cana-crua, ou seja, sem despalha a fogo, dando, assim, início ao ciclo da primeira soqueira, objeto do presente estudo.

Logo após o início da rebrota da primeira soqueira da cana-de-açúcar, foram coletadas amostras de solo, nas camadas de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m para análise química, analisadas conforme metodologias descritas em EMBRAPA (1997), cujos resultados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental: potencial de hidrogenação (pH), matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), porcentagem de saturação por bases (V).

Camada (m)	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Al (mmol _c dm ⁻³)	H+Al	SB	CTC	V (%)
0,00-0,20	5,14	23,56	3,81	3,75	19,40	7,40	0,0	3,66	30,55	67,30	45,73
0,20-0,40	5,28	18,12	0,74	2,72	13,60	5,60	0,0	2,79	21,92	49,90	43,92

P e K, extrator Mehlich⁻¹.

Para caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras indeformadas nas camadas de: 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m (Tabela 2). Na determinação das curvas de retenção de água no solo (CRA), as amostras foram saturadas e submetidas à mesa de tensão (1, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa) nos funis de placa porosa e para as tensões maiores até 1.500 kPa foi utilizado a câmara de Richards (EMBRAPA, 1997). Posteriormente, realizaram as determinações de densidade do solo (Ds) e densidade de partículas do solo (Dp). Para determinação da porosidade total (PT), considerou-se o volume correspondente a umidade de saturação do solo.

Tabela 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental: umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), densidade aparente do solo (Ds), porosidade total (PT).

Camada (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)			θ_{cc} --- m ³ m ⁻³ ---	θ_{pmp} ---	Ds g cm ⁻³	PT cm ³ cm ⁻³	Classificação textural
	Areia	Silte	Argila					
0,00-0,20	458,3	150,2	391,5	51,83	30,50	1,27	0,55	Franco Argiloso
0,20-0,40	374,9	158,3	466,8	55,00	31,33	1,28	0,51	Argila

θ_{cc} - umidade correspondente ao potencial matricial -10kPa; θ_{pmp} - umidade correspondente ao potencial matricial - 1.500 kPa.

4.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições (Figura 2). 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 (zero e 150 kg ha⁻¹ de N) na forma de uréia.

4 100% de lâmina Com N	4 50% de lâmina Com N	4 50% de lâmina Sem N	4 0% de lâmina Sem N	4 25% de lâmina Sem N	4 25% de lâmina Com N	4 75% de lâmina Com N	4 75% de lâmina Sem N	4 100% de lâmina Sem N	4 0% de lâmina Com N
3 0% de lâmina Com N	3 25% de lâmina Sem N	3 25% de lâmina Com N	3 75% de lâmina Sem N	3 0% de lâmina Sem N	3 50% de lâmina Com N	3 50% de lâmina Sem N	3 100% de lâmina Sem N	3 100% de lâmina Com N	3 75% de lâmina Com N
2 100% de lâmina Sem N	2 100% de lâmina Com N	2 0% de lâmina Com N	2 75% de lâmina Sem N	2 25% de lâmina Sem N	2 50% de lâmina Sem N	2 75% de lâmina Com N	2 25% de lâmina Com N	2 0% de lâmina Sem N	2 50% de lâmina Com N
1 75% de lâmina Sem N	1 100% de lâmina Com N	1 100% de lâmina Sem N	1 25% de lâmina Sem N	1 0% de lâmina Sem N	1 0% de lâmina Com N	1 75% de lâmina Com N	1 25% de lâmina Com N	1 50% de lâmina Com N	1 50% de lâmina Sem N

Figura 2. Esquema de distribuição das parcelas correspondentes aos respectivos tratamentos na área experimental.

Bloco: 1, 2, 3 e 4; Níveis de reposição hídrica: 100, 75, 50, 25 e 0%; Adubação: sem nitrogênio (Sem N) e com nitrogênio (Com N).

4.3 Cultivo e Tratos Culturais

O ciclo de cultivo da cana-soca teve início em 15 de maio de 2012 com o corte da cana-planta, utilizando a variedade de cana-de-açúcar RB 85-5453, primeira soqueira, com parcelas experimentais constituídas de três sulcos de linha dupla (plantio “em W” ou plantio em “abacaxi”) com espaçamento de 0,4 m entre linhas na mesma fileira e 1,80 m entre linhas duplas com 8 m de comprimento cada parcela, totalizando 35,2 m² de área total por parcela (Figura 3). Com bordaduras laterais equivalentes ao mesmo tamanho das parcelas experimentais.

Todas as parcelas dos tratamentos foram adubadas com fósforo e potássio segundo recomendações de Sousa & Lobato (2004), conforme o resultado da análise de solo, com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 80 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio). A adubação nitrogenada foi realizada conforme os tratamentos, com aplicação de 150 kg ha^{-1} de N (ureia) e zero respectivamente, com ou sem N. O nitrogênio e o potássio foram aplicados em cobertura na linha dupla de plantio, nos tratamentos de 0% de reposição hídrica e via água de irrigação ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura nos tratamentos com reposição hídrica, parcelados em dez aplicações mensais de 15 e 8 kg ha^{-1} , respectivamente de N e K. O P foi lançado em cobertura em todas as parcelas em uma única aplicação. De acordo com a necessidade, foram realizadas capinas nas linhas e entre linhas da cultura e aplicação de herbicida entre as parcelas para controle de plantas daninhas, tomando o devido cuidado com as condições ambientais a fim de evitar deriva.

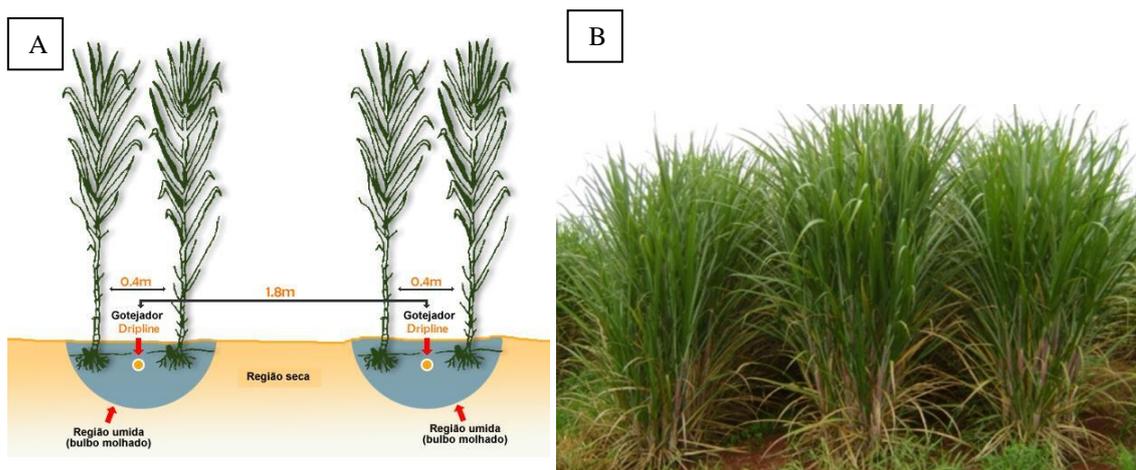


Figura 3. Representação esquemática do espaçamento utilizado no dimensionamento das parcelas (A); e visão da parcela com o plantio em linha dupla (B). Fonte (Figura 3A): Adaptado de Gava et al., (2011).

4.4 Sistema de irrigação

Utilizou-se o método de irrigação por gotejamento subsuperficial nos tratamentos com reposição hídrica. O tubo gotejador foi enterrado a 0,20 m de profundidade da superfície do solo, no meio das linhas duplas (Figura 4), 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 $1,0 \text{ L h}^{-1}$ e espaçamento entre gotejadores de 0,50 m.

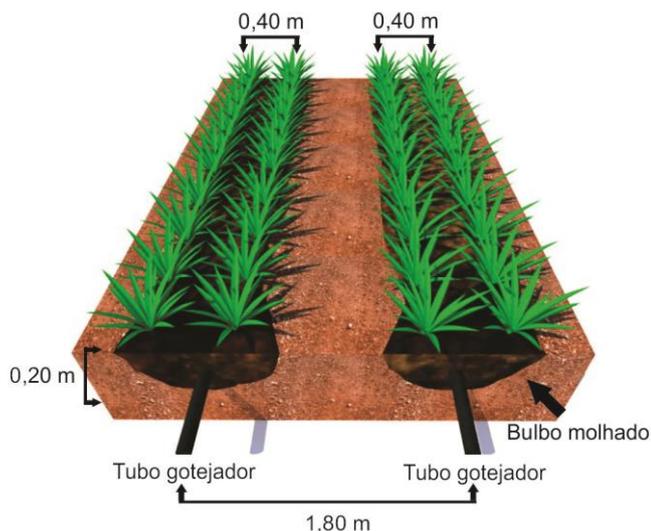


Figura 4. Representação esquemática da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica. Fonte: Adaptado de Oliveira et al., (2014).

A captação da água foi realizada em represamento de 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 antivácuo. Os registros, no total de 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 saíam das tubulações de PVC, em que foram conectadas as linhas laterais (Figura 5).

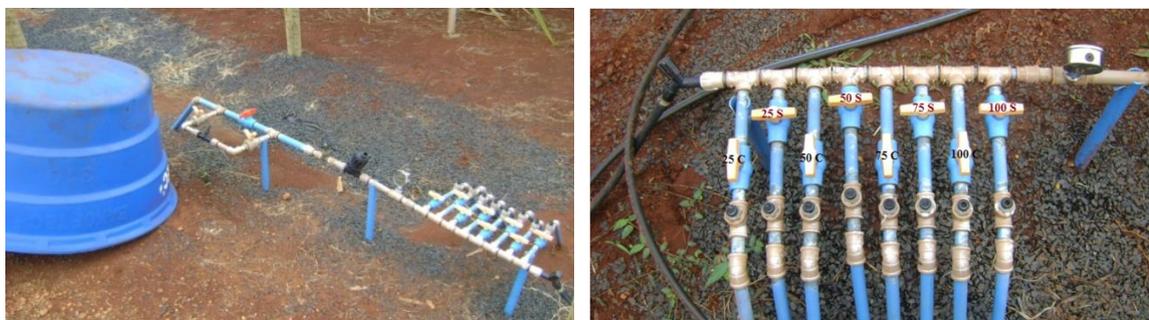


Figura 5. Malha hidráulica do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.

No sistema de irrigação havia um sistema de filtragem equipado com filtro de disco de 100 mesh para a retirada de partículas sólidas que porventura entravam no sistema. O volume de água aplicado nos diferentes tratamentos foi controlado através do comando de tempo, realizado manualmente fechando-se os registros, de acordo com a necessidade diária, considerando a vazão do sistema.

Para atender cada parcela com o gotejamento, foram instaladas mangueiras de polietileno de baixa densidade, modelo tubo cego, sem furos, conduzindo a água da tubulação de PVC até o início da parcela, em que estava conectado o tubo gotejador com extensão de 8 metros, correspondente ao comprimento da parcela, vedados com tampas tipo final de linha.

4.5 Manejo da Irrigação e Fertirrigação

A irrigação foi conduzida com base em tensiometria digital de punção com sensibilidade de 0,1 kPa, com as hastes tensiométricas instaladas nas parcelas com 100% de reposição hídrica, nas profundidades de 0,20, 0,40, 0,60 e 0,80 m de da superfície do solo e distâncias laterais de 0,15, 0,30, 0,45 e 0,60 m do tubo gotejador, para a 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., 2001), 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 6 esquematiza o croqui de distribuição das hastes tensiométricas e a instalação em campo dentro de cada parcela representativa de determinado nível de reposição hídrica.

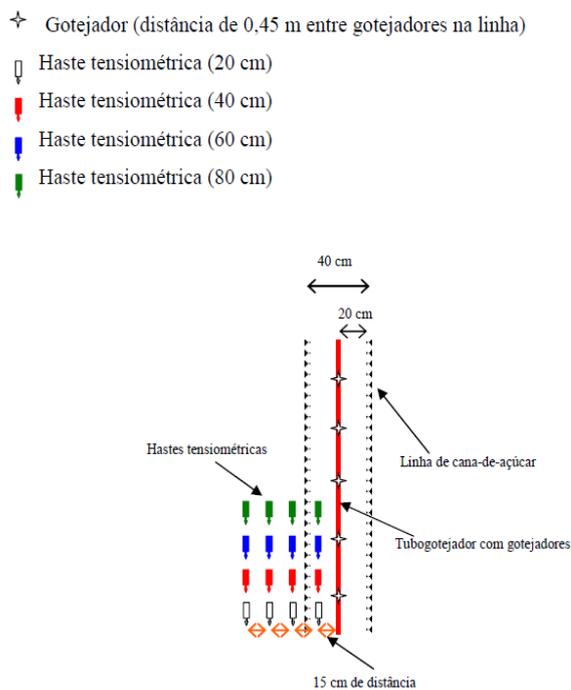


Figura 6. Croqui de instalação dos tensiômetros.

As leituras foram realizadas diariamente, possibilitando, dessa maneira, a avaliação do consumo hídrico da cultura com relação aos níveis de reposição hídrica utilizada (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_{cc} = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3$), obtida a partir da curva de retenção de água no solo;

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

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, determinou-se o volume de água aplicado para cada nível de reposição hídrica, sendo que nos tratamentos de 100% se baseou 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, 115, 230, 345 e 460 mm de água para os níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% de reposição hídrica, respectivamente. O monitoramento da vazão foi realizado segundo metodologia proposta por Keller & Karmeli (1975), a fim de evitar a desuniformidade na aplicação de água.

4.6 Balanço Hídrico

A partir dos dados climatológicos do período experimental, foi elaborado o balanço hídrico decendial para a cana-de-açúcar em manejo de sequeiro, empregando o método de Thornthwaite & Mather (1955) modificado por Camargo (1962), sendo que a Evapotranspiração de Referência (E_t_0) foi calculada segundo a equação de Penman-Monteith (MONTHEITH, 1973) (Figura 7).

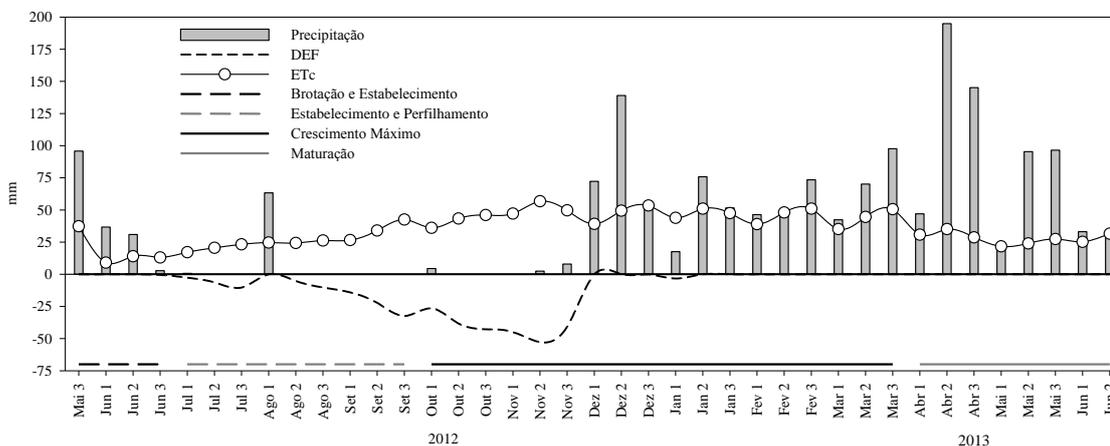


Figura 7. Balanço hídrico da cana-de-açúcar em manejo de sequeiro. DEF – Déficit hídrico. ETc – Evapotranspiração da cultura. Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO. Fonte: Fases da cultura adaptado de Doorenbos & Kassam, (1994).

Ao final do experimento, contabilizou-se o suprimento de água ao solo, para determinação do volume de água fornecido, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Volumes de água aplicados para cada nível de reposição hídrica

RH (%)	LA (mm)	PE (mm)	VTA (mm)
RH 0	0	1015	1015
RH 25	115	1015	1130
RH 50	230	1015	1245
RH 75	345	1015	1360
RH 100	460	1015	1475

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

4.7 Avaliações Biométricas

As avaliações das variáveis biométricas foram realizadas em três plantas previamente demarcadas, localizadas na área útil de cada parcela. A área útil constituiu em um metro linear demarcado no centro da linha dupla principal de cada parcela (Figura 8).



Figura 8. Demarcação da área útil das parcelas experimentais.

As variáveis: altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, mm) e área foliar (AF, m²), foram avaliados em nove etapas realizadas mensalmente a partir dos 90 dias após a colheita (DAC), correspondendo aos seguintes períodos: 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAC. A AP foi mesurada com auxílio de uma fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha +3, enquanto o DC foi dimensionado na base do colmo, utilizando paquímetro digital. A AF foi calculada através da medida do comprimento e largura da folha +3, 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 +3; L – largura da folha +3; N – número de folhas verdes; e 0,7 – fator de correção.

Para número de perfilhos (NPE) e número de plantas (NPL) foram realizadas avaliações quinzenais em seis épocas, aos 90, 105, 120, 135, 150 e 165 DAC. O NPE foi contabilizado a partir do número de plantas com até três folhas abertas e o NPL através das plantas com mais de três folhas abertas, ambos na área útil da parcela (metro linear).

4.8 Colheita

A colheita da área útil de cada parcela (metro linear central da linha principal) foi realizada aos 396 dias após o primeiro corte (DAC) e realizada a pesagem dos colmos. Esses valores foram utilizados para a determinação da produtividade de colmos, obtida por meio da relação proporcional da área amostrada, com auxílio de balança digital de mão, extrapolada para um hectare. Foram coletados os colmos de dez plantas por tratamento e submetidas à análise em laboratório especializado da Usina Boa Vista em Quirinópolis – GO, através de metodologia preconizada pelo CONSECANA (2006), para a determinação dos índices tecnológicos do caldo contido nos colmos da cana-de-açúcar.

Foram determinados a produtividade de colmos (PCH, Mg ha⁻¹), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ, Mg ha⁻¹), rendimento bruto de álcool (RBAL, m³ ha⁻¹) e eficiência de uso da água (EUA, mm Mg⁻¹ ha⁻¹).

A EUA foi calculada através da relação entre o volume total de água recebido pelas plantas (VTA) e a PCH, conforme equação 4.

$$EUA = \frac{VTA}{PCH} \quad (4)$$

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 5 e 6, utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado pela análise tecnológica do caldo.

$$RBAÇ = \frac{(PCC \times PCH)}{100} \quad (5)$$

$$RBAL = [(PCC \times F) + ARL] \times F_g \times 10 \times PCH / 1000 \quad (6)$$

em que:

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

PCH - produtividade de colmo (Mg 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;

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

4.9 Análise Estatística

Os dados das variáveis biométricas obtidos em cada fase de desenvolvimento da cultura 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 a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O balanço hídrico apresentado na Figura 7 comprovou que as quantidades de água aplicadas via irrigação nos tratamentos com níveis de reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% foram respectivamente, 0, 115, 230, 345 e 460 mm; retirando o volume de água percolado foram computados 1015 mm de precipitação efetiva (PE), assim as quantidades totais de água (irrigação mais precipitação efetiva) aplicadas foram 1015, 1130, 1245, 1360 e 1475 mm.

5.1 Variáveis Biométricas

Conforme a análise de variância (Tabela 4), a interação entre os fatores reposição hídrica (RH) x nitrogênio (N), foi significativa apenas para as variáveis, altura de plantas (AP) aos 300 DAC e para área foliar da cana-de-açúcar (AF) aos 90 e 210 DAC. Para diâmetro de colmos (DC) os efeitos significativos dos fatores foram ocasionados isoladamente conforme a época.

As plantas de cana-de-açúcar aos 300 DAC, submetidas à aplicação de nitrogênio (Com N), obtiveram resposta linear para AP em função dos níveis de reposição hídrica (Figura 9A). A medida que se aumentou 1% de reposição hídrica houve desenvolvimento estimado de 0,13% em altura de plantas, que corresponde a diferença de 13,2% entre as reposições hídricas de zero e 100%. Nos tratamentos sem a aplicação de nitrogênio (Sem N) o comportamento da AP foi similar, porém os valores obtidos através da equação de regressão foram menores, de modo que no tratamento com N a maior AP foi de 273,41 cm e no tratamento sem N, foi de 263,26 cm ambos com 100% RH.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para altura de planta (cm), diâmetro de colmo (mm) e área foliar (cm²) da soqueira da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio, aos 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após a colheita (DAC).

Variáveis	Quadrados Médios das Fontes de Variações						Nitrogênio	
	Reposição Hídrica (RH)	Nitrogênio (N)	Interação RH x N	Bloco	Resíduo	CV (%)	Com	Sem
DAC	Altura de Planta (AP)						AP (cm)	
							Com	Sem
90	15,33*	28,59 ^{ns}	13,32 ^{ns}	6,01 ^{ns}	5,25	12,59	17,35b	19,04a
120	80,53**	0,68 ^{ns}	3,15 ^{ns}	11,54 ^{ns}	11,87	12,66	27,08a	27,35a
150	316,80**	1,20 ^{ns}	20,94 ^{ns}	49,47 ^{ns}	28,48	12,01	44,62a	44,27a
180	2046,51**	43,84 ^{ns}	132,57 ^{ns}	82,19 ^{ns}	76,36	11,06	77,94a	80,03a
210	1771,96**	42,97 ^{ns}	60,88 ^{ns}	160,36 ^{ns}	63,05	5,42	147,52a	145,45a
240	1157,85**	305,03 ^{ns}	63,27 ^{ns}	20,63 ^{ns}	80,51	4,60	197,95a	192,42a
270	2380,72**	1994,59**	155,64 ^{ns}	30,10 ^{ns}	58,49	3,25	242,12a	227,99b
300	1426,35**	1410,39**	159,43*	52,69 ^{ns}	54,96	2,95	257,46a	245,58b
330	1674,81**	2367,75**	89,95 ^{ns}	199,80 ^{ns}	252,54	5,27	309,41a	294,02b
DAC	Diâmetro de Colmo (DC)						DC (mm)	
							Com	Sem
90	37,34**	1,25 ^{ns}	2,63 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,81	8,57	15,88a	15,52a
120	27,21**	13,40*	6,46 ^{ns}	3,33 ^{ns}	3,14	9,03	20,21a	19,05b
150	24,91**	22,77*	2,45 ^{ns}	5,73 ^{ns}	3,77	7,97	25,14a	23,63b
180	16,65*	27,12*	1,11 ^{ns}	2,94 ^{ns}	5,15	8,28	28,23a	26,58b
210	10,22 ^{ns}	21,93*	3,34 ^{ns}	1,27 ^{ns}	3,89	6,84	29,59a	28,11b
240	8,65 ^{ns}	23,34*	1,48 ^{ns}	4,80 ^{ns}	3,88	6,63	30,46a	28,93b
270	13,12*	17,04*	1,55 ^{ns}	3,18 ^{ns}	3,88	6,48	31,10a	29,79b
300	17,67**	13,86 ^{ns}	0,81 ^{ns}	3,02 ^{ns}	3,98	6,39	31,86a	30,68a
330	22,26**	16,12*	1,46 ^{ns}	2,12 ^{ns}	3,09	5,44	32,95a	31,68b
DAC	Área Foliar (AF)						AF (cm ²)	
							Com	Sem
90	109038,91**	1895,44 ^{ns}	36969,19*	10332,71 ^{ns}	9915,83	14,10	699,23a	713,00a
120	431403,05**	282035,07*	38351,67 ^{ns}	29366,95 ^{ns}	47005,06	17,44	1327,36a	1159,43b
150	669923,34**	1653,79 ^{ns}	37891,39 ^{ns}	158783,20 ^{ns}	78344,54	14,55	1916,64a	1929,50a
180	1509876,28**	13513,34 ^{ns}	301341,40 ^{ns}	651597,90 ^{ns}	176580,40	14,67	2882,42a	2845,66a
210	972885,02**	57139,99 ^{ns}	460516,29*	183907,90 ^{ns}	161375,50	10,35	3920,06a	3844,47a
240	907354,93**	989432,75*	124970,70 ^{ns}	885156,40 ^{ns}	204271,70	10,11	4626,60a	4312,04b
270	2034696,04**	1765428,28**	255684,50 ^{ns}	662772,60 ^{ns}	139851,60	7,13	5456,56a	5036,39b
300	5388492,40**	2451462,90**	118698,70 ^{ns}	383075,90 ^{ns}	143899,70	6,03	6542,46a	6047,34b
330	3464767,75**	852692,56*	240103,00 ^{ns}	135410,20 ^{ns}	192220,90	8,07	5579,95a	5287,94b
GL	4	1	4	3	27			

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; médias seguidas de mesma letra entre colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. CV(%) coeficiente de variação; GL grau de liberdade.

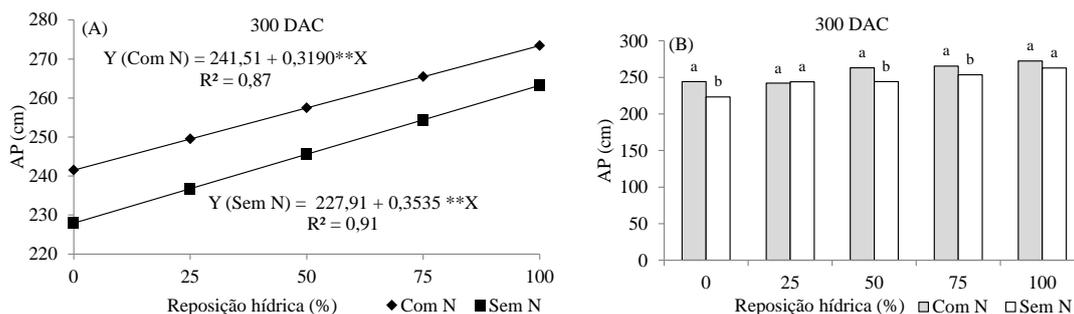


Figura 9. Altura de plantas da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica dentro de cada aplicação de nitrogênio (A) e da aplicação de nitrogênio dentro de cada reposição hídrica (B), aos 300 dias após a colheita (DAC).

Observando-se o efeito da aplicação de nitrogênio nos níveis de reposição hídrica, houve diferença significativa para AP somente nos níveis de 0, 50 e 75%, em que houve aumento estimado de 9,32, 7,64 e 4,70% com o fornecimento de N nas respectivas RH (Figura 9B).

Para AP o fator RH foi significativo em todas as épocas de avaliação (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAC), com comportamento linear em função dos níveis de RH (Figura 10). Na fase inicial da rebrota das soqueiras de cana-de-açúcar o crescimento em altura foi mais lento, com acréscimos estimados, segundo a equação de regressão de 0,71, 1,74 e 3,78 cm aos 90, 120 e 150 DAC (Figuras 10A, 10B e 10C), a cada nível de RH avaliado. Santos et al. (2009) avaliando a AP em cana-de-açúcar, em manejo de sequeiro, relataram crescimento médio de 48,6 cm para 122,6 cm do quarto ao sexto mês. Estes valores foram superiores aos observados no presente estudo, do quarto ao sexto mês este crescimento médio em AP foi de 23,72 cm para 59,58 cm em sequeiro (RH 0%) e de 30,71 cm para 98,40 cm para 100% RH, pois a partir do quarto mês se inicia a fase de alongamento do colmo, cuja população já estabelecida inicia um rápido crescimento em altura.

Dos 180 aos 270 DAC, período correspondente ao grande crescimento, os valores de AP se elevaram consideravelmente, havendo acréscimos estimados de 9,70 (180 DAC), 9,00 (210 DAC), 7,35 (240 DAC) e 10,77 (270 DAC) cm a cada nível de RH a que as plantas foram submetidas (Figuras 10D, 10E, 10F e 10G), constatando dessa maneira que a cada 1% de RH se elevou a AP em 0,65% (180 DAC), 0,28% (210 DAC), 0,16% (240 DAC) e 0,20% (270 DAC).

Já na fase de maturação, os valores referentes à AP decresceram para 8,71cm a cada nível de RH, aos 330 DAC (Figura 10H), que corresponde ao acréscimo estimado de 12,26% entre os níveis de RH 0% e 100%, com o crescimento máximo em AP de 319,15 cm aos 330 DAC na RH de 100%.

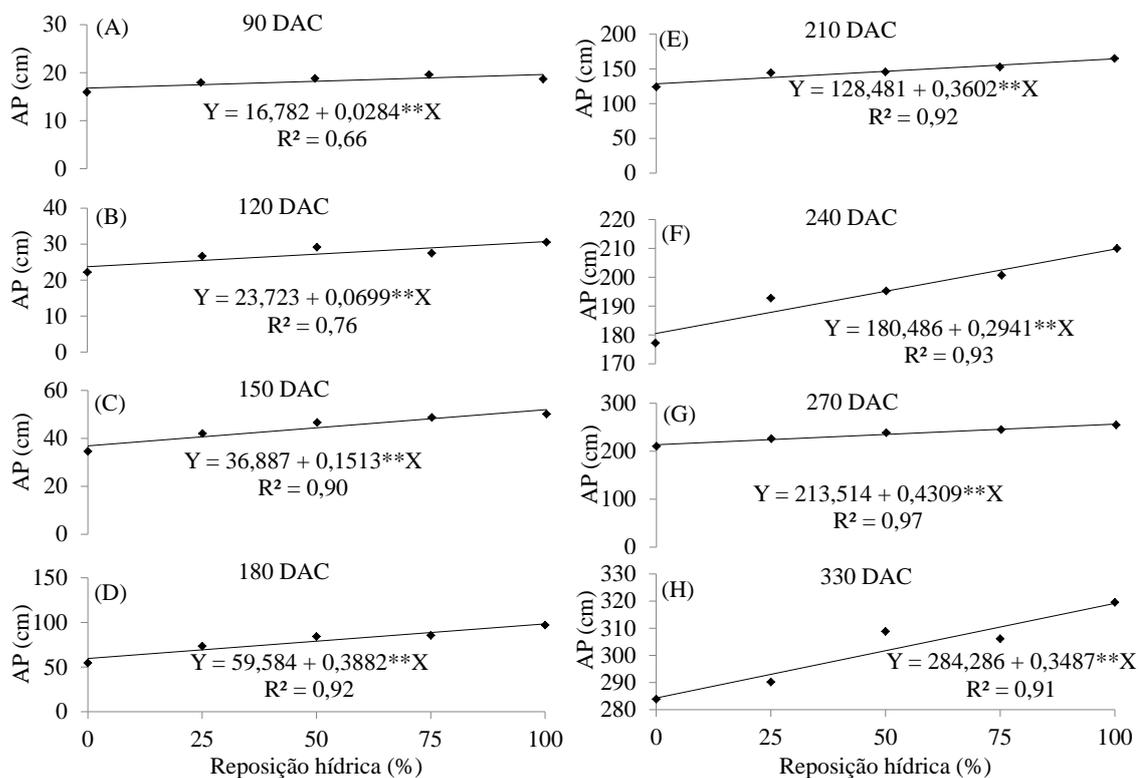


Figura 10. Altura de planta da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 90 (A), 120 (B), 150 (C), 180 (D), 210 (E), 240 (F), 270 (G) e 330 (H) dias após a colheita (DAC).

A adição (Com) ou a ausência (Sem) de nitrogênio (N) nos tratamentos não apresentou diferenças significativas nas fases iniciais de brotação e perfilhamento para AP, diferindo segundo teste F a 1% de probabilidade, apenas no final das fases de crescimento (270 DAC) e maturação (300 e 330 DAC). O estresse ocasionado pelo corte do 1º ciclo da cana faz com que as plantas tenham o aporte inicial maior de energia em função das brotações e perfilhamentos, investindo mais em desenvolvimento do que em crescimento. Analisando a AP frente ao fator N, nas fases em que foi observada diferença significativa segundo teste Tukey, as plantas de cana-de-açúcar

sofreram o acréscimo estimado de 14,11 e 15,39 cm com aplicação de N, aos 270 e 330 DAC, correspondendo a um incremento de 6,18 e 5,23% (Tabela 4).

Para a variável diâmetro de colmo (DC) o fator RH foi significativo apenas na fase inicial (90, 120, 150 e 180 DAC) e final (270, 300 e 330 DAC) do ciclo da cana-de-açúcar (Tabela 4). Com aumento expressivo de 1,34, 1,11 e 1,11 mm a cada nível de RH avaliado, aos 90, 120 e 150 DAC (Figura 11A, 11B e 11C). A partir dos 180 DAC essa proporção diminuiu, passando para 0,87, 0,68, 0,81 e 1,00 mm a cada nível de RH avaliado, correspondente as épocas de avaliação de 180, 270, 300 e 330 DAC respectivamente (Figura 11D, 11E 11F e 11G).

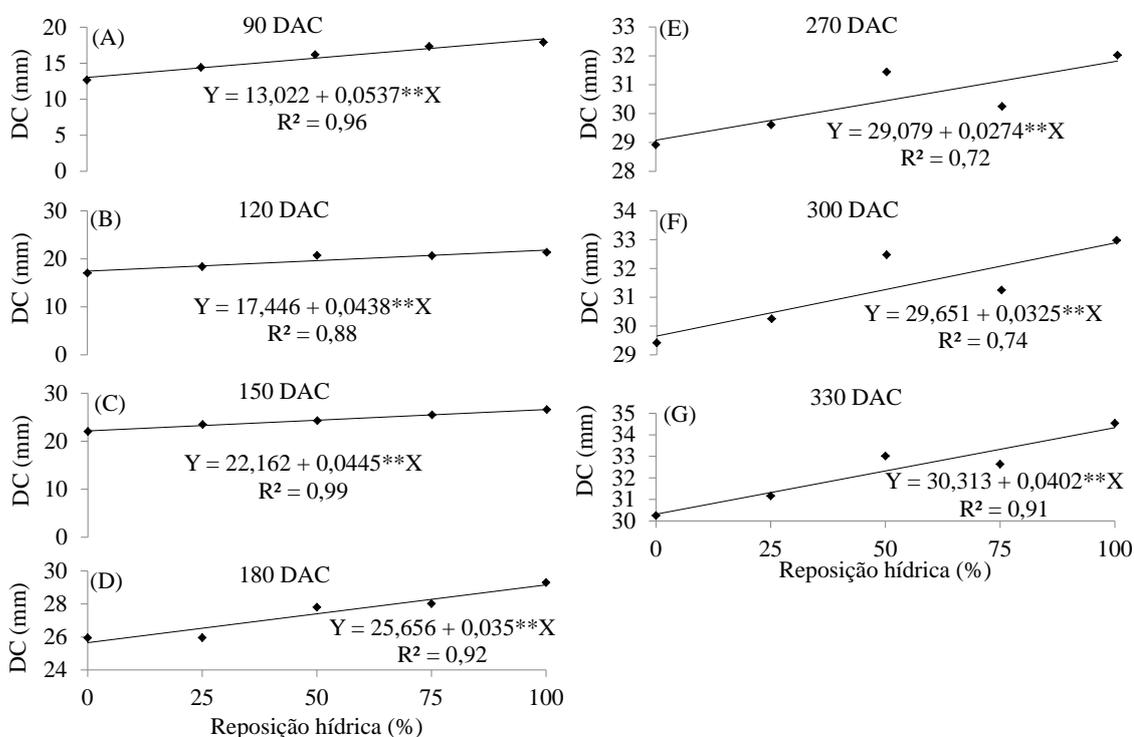


Figura 11. Diâmetro de colmo da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 90 (A), 120 (B), 150 (C), 180 (D), 270 (E), 300 (F) e 330 (G) dias após a colheita (DAC).

O fator N foi significativo a 5% de probabilidade segundo teste F para a variável DC aos 120, 150, 180, 210, 240, 270 e 330 DAC (Tabela 4). A diferença no desenvolvimento do DC da cana-de-açúcar em função do N foi semelhante nos diferentes períodos avaliados. Entre os 120 e 240 DAC houve o incremento de 5 a 6% no DC das plantas de cana-de-açúcar que receberam a adubação nitrogenada comparado

com as plantas que não receberam esta adubação. Já aos 270 e 330 DAC a diferença de DC entre os tratamentos com N e sem N foi inferior (1,31 e 1,27 mm) equivalendo a o incremento de 4,39 e 4,00%, com o maior DC de 32,95 mm no tratamento com adição de N. Este resultado é superior ao obtido por Uribe et al., (2013) em soqueiras de cana-de-açúcar, variedade SP80-3280, irrigada e adubada com 140 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com DC médio de 27 mm. Ambos estando de acordo com Moura et al. (2005), segundo ele valores acima de 22 mm para DC são considerados adequados para cana-de-açúcar irrigada. Pois, desde os 120 DAC com 100% RH e dos 150 DAC com 0% RH as plantas já estavam com valores de DC estimados equivalentes a 22 mm.

Para AF das plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de RH e com aplicação de N, aos 90 DAC não ocorreu diferença significativa, evidenciando que os valores encontrados são equivalentes, embora quando não foram submetidas à aplicação de nitrogênio (Sem N), obtiveram resposta linear para AF em função dos níveis de reposição hídrica (Figura 12A). A cada 1% de reposição hídrica, houve o aumento estimado de 0,87% em AF, correspondendo a diferença de 87,4% entre as reposições hídricas de zero e 100%. Observou-se que aos 210 DAC a AF aumentou linearmente em função dos níveis de RH avaliados, submetidas ou não a adubação nitrogenada. Segundo a Figura 12C, a estimativa de aumento da área foliar foi de 0,14% com a aplicação de N e de 0,34% sem a aplicação de N a cada 1% de RH aplicada.

O efeito da aplicação de nitrogênio nos níveis de reposição hídrica para AF foi significativo apenas aos 90 DAC, nos níveis de zero e 100% (Figura 12B), e houve o acréscimo estimado na AF de 34,37% entre as plantas Com e Sem N, com 0% RH. Contudo a AF das plantas Sem N, sobressaíram-se 31,61% mais, em relação às plantas Com N na RH 100%. Já aos 210 DAC não houve diferença significativa entre aplicação de nitrogênio nos níveis de reposição hídrica para AF (Figura 12D).

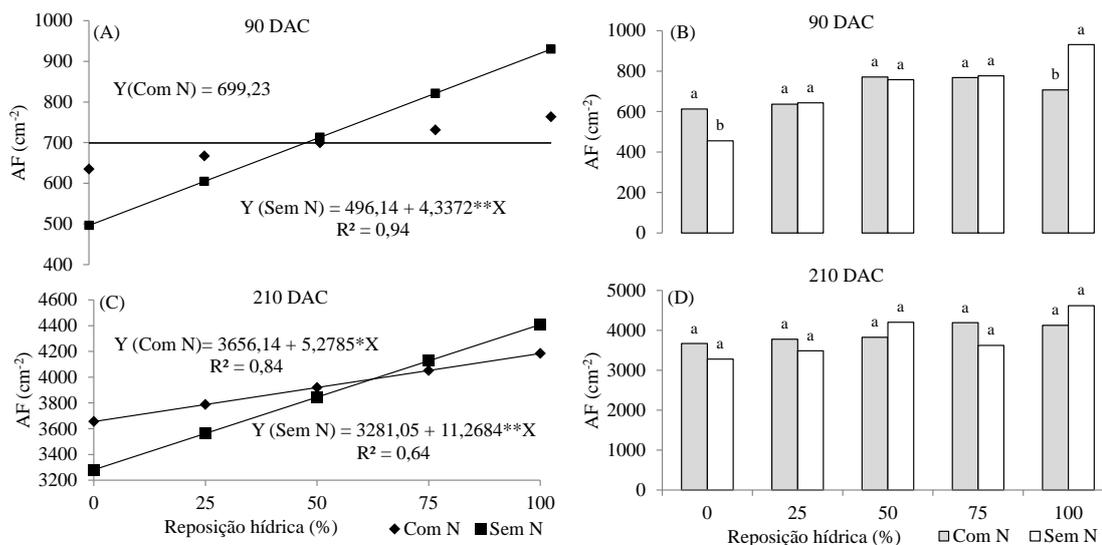


Figura 12. Área foliar da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica dentro de cada aplicação de nitrogênio (A, C) e da aplicação de nitrogênio dentro de cada reposição hídrica (B, D), aos 90 e 210 dias após a colheita (DAC).

Quando analisado isoladamente, a resposta da variável AF da cana-de-açúcar ao fator RH obteve diferença significativa a 1% de probabilidade em todas as fases de desenvolvimento da cultura analisadas, de modo linear conforme Figura 13.

Aos 120 DAC, época correspondente à fase inicial de desenvolvimento da cultura, houve incremento estimado na AF de 59,03%, entre a RH de 0 e 100%, resultando no acréscimo de 0,59% de AF a cada 1% de RH aplicada (Figura 13A). O déficit hídrico limita à expansão da área foliar, porque o estresse gerado tende a cessar o crescimento e evita o surgimento de novas folhas (SMIT & SINGELS, 2006; FARIAS et al., 2008). A partir do início da fase de grande crescimento da cultura ocorreram acréscimos estimados quanto a AF de 0,39, 0,46, 0,15 e 0,24% a cada 1% de RH aplicada, aos 150, 180, 240 e 270 DAC (Figura 13B, 13C, 13D e 13E). Na sequência das fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, observa-se que na fase da maturação a reposição hídrica de 100% proporcionou incrementos de 37,52 e 34,60% em relação ao manejo de sequeiro (0% RH) aos 300 e 330 DAC (Figura 13F e 13G).

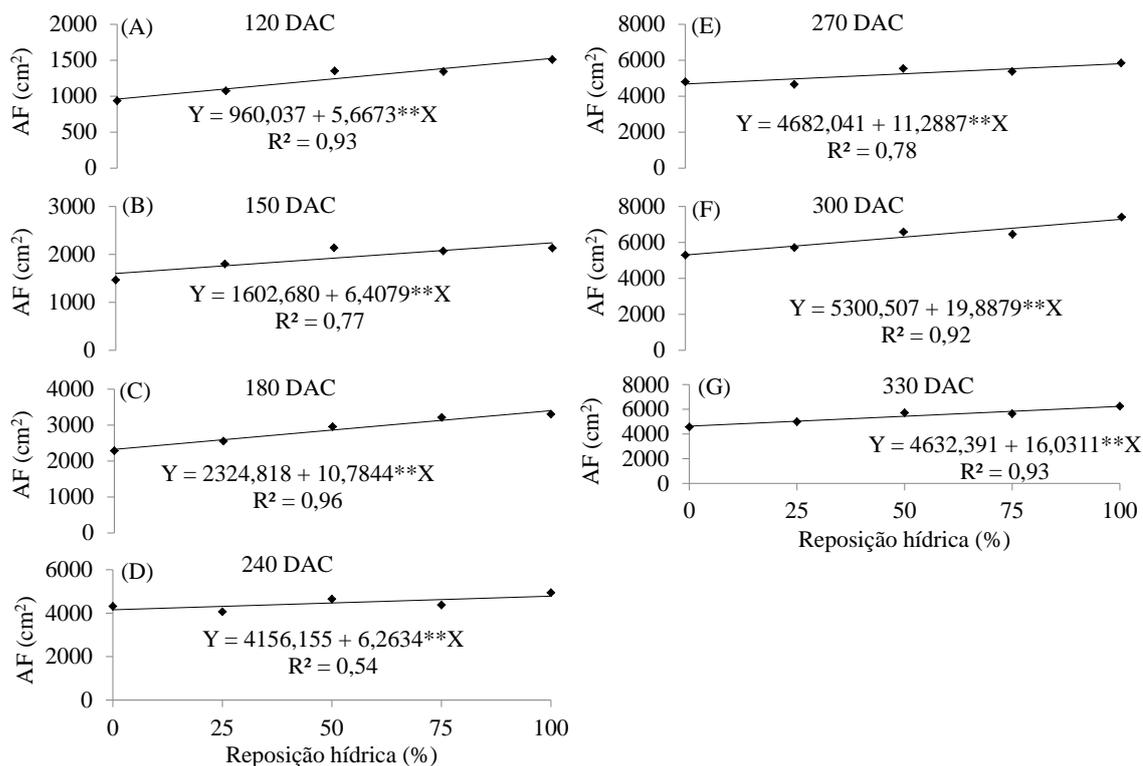


Figura 13. Área foliar da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 120 (A), 150 (B), 180 (C), 240 (D), 270 (E), 300 (F) e 330 (G) dias após a colheita (DAC).

O N influenciou significativamente a AF aos 120, 240, 270, 300 e 330 DAC, segundo teste F a 1 e a 5% de probabilidade. Segundo Demattê (2005) as soqueiras da cana-de-açúcar respondem favoravelmente à adubação nitrogenada. Aos 120 DAC houve o arranque inicial no crescimento da AF impulsionado pela adição de N as plantas de cana-de-açúcar, responsável pelo incremento de 14,48% em relação às plantas com ausência de N na adubação. Esse acréscimo foi gradativo até aos 300 DAC, fase caracterizada pelo grande crescimento da cultura e com maior incremento de AF, com 495,12 cm², responsáveis pelo aumento estimado de 8,18% entre os tratamentos com e sem N (Tabela 4). Ao final do ciclo, 330 DAC, a AF diminuiu para 0,5% a cada 1% de RH aplicada, por causa dos processos fisiológicos ocasionados pela maturação, ocorrendo maior senescência foliar e baixa emissão de novas folhas.

O estresse hídrico por si só ou associado à deficiência de nutrientes ocasionam uma série de alterações que interferem nas características fisiológicas e morfológicas das plantas, refletindo na capacidade para obtenção de elevadas produtividades (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; GHANNOUM, 2009). De forma que, tanto a

reposição hídrica quanto a adubação nitrogenada interferem diretamente nos processos morfofisiológicos das plantas de cana-de-açúcar, resultando ao final do ciclo da cultura, em elevadas produtividades.

Observa-se na Tabela 5, o resumo da análise de variância do número de plantas (NPL) e número de perfilhos (NPE) em função das épocas de avaliações conforme a RH e aplicação de N. A interação entre RH e N não foi significativa para nenhuma das variáveis analisadas, verificando seus efeitos isoladamente, apenas a RH demonstrou diferença significativa para NPL e NPE em algumas das épocas de avaliação, segundo teste F a 1% de probabilidade.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para número de plantas (NPL) e número de perfilhos (NPE) da soqueira da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio, aos 90, 105, 120, 135, 150 e 165 DAC.

Variáveis	Quadrados Médios das Fontes de Variações						Nitrogênio	
	Reposição Hídrica (RH)	Nitrogênio (N)	Interação RH x N	Bloco	Resíduo	CV (%)		
DAC	Número de Plantas (NPL)						NPL (m ⁻¹ linear)	
							Com	Sem
90	27,96 ^{ns}	22,50 ^{ns}	97,81 ^{ns}	46,06 ^{ns}	26,73	12,00	43,85a	42,35a
105	706,66**	156,02 ^{ns}	46,96 ^{ns}	261,49 ^{ns}	50,17	8,62	84,15a	80,20a
120	561,96**	136,90 ^{ns}	7,58 ^{ns}	123,30 ^{ns}	40,96	8,79	74,70a	71,00a
135	366,93**	55,22 ^{ns}	52,66 ^{ns}	110,22 ^{ns}	60,07	12,13	65,05a	62,70a
150	96,96**	19,60 ^{ns}	41,28 ^{ns}	43,80 ^{ns}	22,72	9,42	51,30a	49,90a
165	313,56**	81,22 ^{ns}	14,16 ^{ns}	20,69 ^{ns}	20,63	11,18	42,05a	39,20a
DAC	Número de Perfilhos (NPE)						NPE (m ⁻¹ linear)	
							Com	Sem
90	102,28**	0,02 ^{ns}	9,83 ^{ns}	14,75 ^{ns}	12,99	14,76	24,40a	24,45a
105	44,71**	19,60 ^{ns}	8,41 ^{ns}	20,03 ^{ns}	10,03	17,26	19,05a	17,65a
120	16,15 ^{ns}	4,22 ^{ns}	0,85 ^{ns}	10,75 ^{ns}	8,23	18,85	15,55a	14,90a
135	10,97 ^{ns}	25,60 ^{ns}	9,22 ^{ns}	20,20 ^{ns}	8,79	44,26	7,50a	5,90a
150	1,03 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,91 ^{ns}	1,42 ^{ns}	2,61	38,70	4,35a	4,00a
165	5,81 ^{ns}	0,02 ^{ns}	3,08 ^{ns}	4,35 ^{ns}	3,39	98,27	1,90a	1,85a
GL	4	1	4	3	27			

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; médias seguidas de mesma letra entre colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. CV(%) coeficiente de variação; GL grau de liberdade.

Aos 90 DAC foi a única época de avaliação em que os níveis de RH não diferiram em relação ao NPL (Tabela 5), isso se deve ao período inicial da cultura

correspondente a brotação, fase em que as soqueiras de cana-de-açúcar estavam se reestabelecendo e a grande maioria dos indivíduos presentes não possuíam características morfológicas suficientes para serem consideradas com plantas (mais de três folhas abertas) conforme metodologia utilizada.

Aos 105 e 120 DAC a variável NPL apresentou resposta quadrática em função da reposição hídrica, com o número máximo de plantas nos níveis de RH próximos a 85%, com 90 e 79 plantas m^{-1} linear respectivamente (Figura 14A e 14B). Nas demais épocas o NPL decresceu, com valores estimados de 20,45, 16,24 e 47,90% quando comparadas as RH de 0% (sequeiro) e 100% (irrigada) avaliada aos 135, 150 e 165 DAC (Figura 14C, 14D e 14E). Corroborando com Silva et al., (2014), que demonstra em seu estudo que o aumento inicial do NPL de cana-de-açúcar se estabiliza por algum período e decresce logo em seguida.

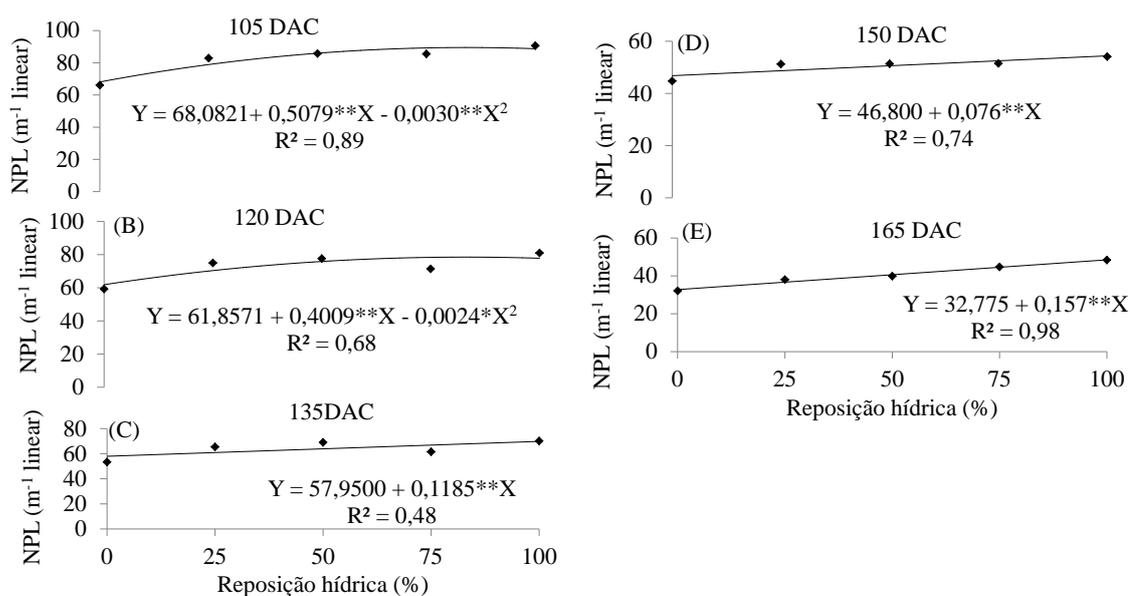


Figura 14. Número de plantas (unidades m^{-1} linear) da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 105 (A), 120 (B), 135 (C), 150 (D) e 165 (E) dias após a colheita (DAC).

Para NPE a RH diferiu apenas aos 90 e 105 DAC, período compreendido pelas fases de brotação e perfilhamento da cana-de-açúcar, e conforme as Figuras 15A e 15B, a RH 100% promoveu acréscimos estimados de 44,86 e 36,77% superiores a RH de 0% nas respectivas épocas avaliadas. Este decréscimo no NPE ocorreu pelo déficit hídrico ao qual as plantas com 0% RH foram submetidas e principalmente pela competição

ocasionada pelo desenvolvimento das plantas. A emissão de perfilhos pela cana diminui à medida que as plantas se desenvolvem, porque à competição por água, luz e nutrientes causam diminuição e paralisação do processo, além da morte de perfilhos mais jovens (OLIVEIRA et al., 2004).

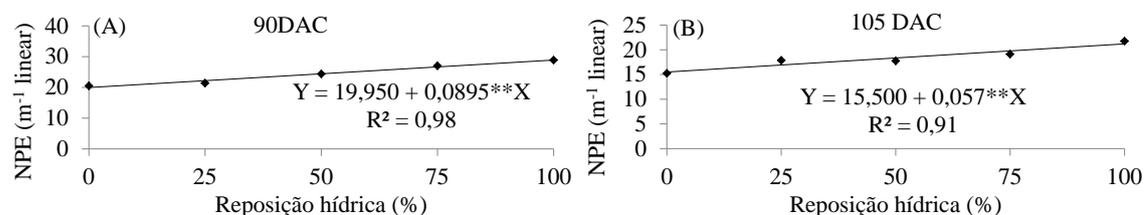


Figura 15. Número de perfilhos (unidades m⁻¹ linear) da soqueira de cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, aos 90 (A) e 105 (B) dias após a colheita (DAC).

5.2 Variáveis Produtivas

No resumo da análise de variância referente aos índices tecnológicos da cana-de-açúcar, observa-se a ausência de efeito significativo dos fatores RH e N sobre as variáveis analisadas (Tabela 6). Uribe et al., (2013) e Barbosa et al., (2012) também evidenciaram em seus estudos que a qualidade da cana-de-açúcar não foi alterada em função da irrigação e adubação manejadas.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para os índices tecnológicos do caldo da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio.

Variáveis	Quadrados Médios					CV (%)	Nitrogênio (N)	
	Reposição Hídrica (RH)	Nitrogênio (N)	Interação RH x N	Bloco	Resíduo		Com	Sem
BRIX (%)	0,02 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,54	3,82	19,26a	19,44a
PBU (g)	14,05 ^{ns}	1,27 ^{ns}	24,73 ^{ns}	19,16 ^{ns}	28,88	5,04	106,86a	106,51a
POL (%)	0,01 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,66	4,72	17,13a	17,35a
PC (%)	0,02 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,45	4,42	15,16a	15,36a
PUREZA (%)	0,12 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,46 ^{ns}	3,65 ^{ns}	1,02	1,14	88,87a	89,23a
FIBRA (%)	0,090 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,156 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,185	4,57	9,42a	9,39a
AR (%)	0,0001 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,0018 ^{ns}	0,0043 ^{ns}	0,0011	5,89	0,59a	0,58a
ATR (kg Mg ⁻¹)	14,57 ^{ns}	69,48 ^{ns}	53,74 ^{ns}	20,09 ^{ns}	43,19	4,32	150,65a	153,29a
GL	4	1	4	3	27			

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; médias seguidas de mesma letra entre colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. CV(%) coeficiente de variação; GL grau de liberdade. BRIX – teor de sólidos solúveis totais; PBU – peso do bolo úmido; POL – teor de sacarose aparente do caldo; PC – pol da cana; PUREZA – pureza do caldo; FIBRA – teor de fibra; AR – açúcares redutores; ATR – açúcar total recuperável.

Conforme o resumo da análise de variância apresentado na Tabela 7, verifica-se que a interação entre a RH e a aplicação de N não promoveu efeito significativo para nenhuma das variáveis produtivas avaliadas. O fator RH causou efeito significativo segundo teste F a 1% de probabilidade, para as variáveis: produtividade de colmos (PCH), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e rendimento bruto de álcool (RBAL).

Para a aplicação de N não foi observado efeito significativo em nenhum dos parâmetros produtivos avaliados, embora alguns autores (THORBURN et al., 2003; GAVA et al., 2011) afirmam que o manejo de irrigação por gotejamento e o uso da fertirrigação, aumentam a eficiência de utilização dos fertilizantes em comparação com o manejo de sequeiro. Indicando alta ciclagem de nutrientes do primeiro ciclo da cana aliado a elevados índices de matéria orgânica no solo da área experimental, juntamente com as características físicas deste solo que auxiliam na retenção de nutrientes (N) nas camadas mais superficiais.

A eficiência de uso da água (EUA) não diferiu estatisticamente entre nenhum dos fatores avaliados. Corroborando com os resultados obtidos por Oliveira et al., (2014), em que analisando a EUA no primeiro ciclo da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica e adubação nitrogenada, não foi influenciada pelos fatores em estudo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para produtividade de colmos (PCH), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ), rendimento bruto de álcool (RBAL) e eficiência de uso da água (EUA) da soqueira de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio.

Variáveis	Quadrados Médios					CV (%)	Nitrogênio (N)	
	Reposição Hídrica (RH)	Nitrogênio (N)	Interação RH x N	Bloco	Resíduo		Com	Sem
PCH (Mg ha ⁻¹)	6004,44**	4378,84 ^{ns}	781,32 ^{ns}	307,25 ^{ns}	1161,43	17,25	208,05a	187,13a
RBAÇ (Mg ha ⁻¹)	142,50**	78,65 ^{ns}	19,14 ^{ns}	5,84 ^{ns}	28,73	17,77	31,56a	28,75a
RBAL (m ³ ha ⁻¹)	71,91**	40,22 ^{ns}	9,62 ^{ns}	2,92 ^{ns}	14,45	17,73	22,44a	20,43a
EUA (mm Mg ⁻¹ ha ⁻¹)	1,42 ^{ns}	7,76 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,44 ^{ns}	2,26	23,09	6,07a	6,95a
GL	4	1	4	3	27			

* 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. CV(%) coeficiente de variação; GL grau de liberdade.

A produtividade de colmos (PCH) foi responsiva à RH, mostrando acréscimo linear, de acordo com a análise de regressão (Figura 16). O valor máximo estimado de PCH foi de 230,41 Mg ha⁻¹ para o nível de 100% RH, enquanto a produtividade média no tratamento sem irrigação (0% RH) foi de 164,71 Mg ha⁻¹ (Figura 16), obtendo o acréscimo de 39,89% no rendimento de PCH entre os níveis de RH de 0 e 100%. Desta forma, a cada 1% de reposição hídrica fornecido, obteve-se o acréscimo de 0,39% na produtividade de colmos, que equivale ao rendimento de 0,66 Mg ha⁻¹. Conforme Doorembo & Kassam (1994), o rendimento médio de cana-de-açúcar produzida em condições de sequeiro nos trópicos úmidos, varia entre 70 a 100 Mg ha⁻¹ e, nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, entre 100 e 150 Mg ha⁻¹, assim ambos os resultados de PCH podem ser considerados elevados, devido ao potencial da técnica de irrigação via gotejamento subsuperficial e do suprimento hídrico do solo proporcionado pela precipitação, aliados as características físicas e de fertilidade do solo da área experimental. Gava et al. (2011) e Andrade Júnior et al. (2012) também verificaram elevadas produtividades de colmos para cana-de-açúcar irrigada via gotejo subsuperficial em comparação ao cultivo de sequeiro, de 28 e 49%, respectivamente, no segundo ciclo de cultivo (cana-soca).

Farias et al. (2008) e Dantas Neto et al. (2006) relatam que para a cultura expressar seu potencial genético e atingir o seu potencial produtivo é imprescindível o uso da tecnologia da irrigação, para obtenção de produtividades mais elevadas. O incremento na PCH alcançado a medida que houve acréscimo no nível de reposição hídrica (Figura 14) foi ocasionado pela redução do estresse hídrico, este tipo de estresse provoca redução de trocas gasosas; diminuição da área foliar; redução no surgimento de novas folhas (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005) e aumento da abscisão foliar (SMIT & SINGELS, 2006) por causa do aumento da concentração de ácido abscísico na planta (GHANNOUM, 2009), que é associado à quantidade de luz absorvida e à fotossíntese total da planta, reduzindo de forma expressiva a produção de fotoassimilados. Essas características fisiomorfológicas modificadas pelo estresse hídrico são consideradas de grande importância para se obter elevadas produtividades vegetais (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; GHANNOUM, 2009).

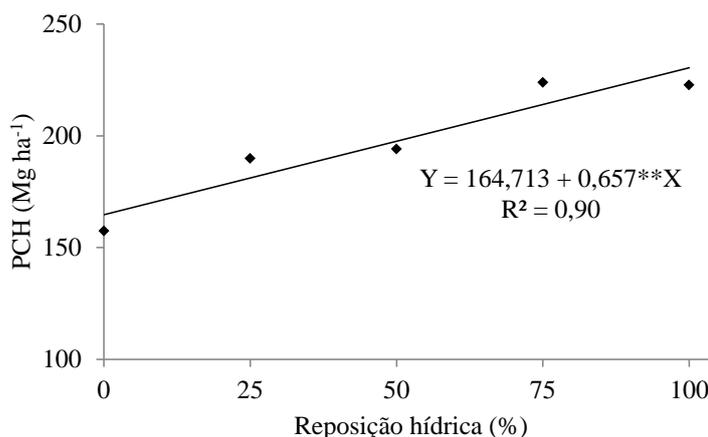


Figura 16. Produtividade de colmos (PCH) da soqueira de cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

O RBAÇ também foi acrescido em função dos níveis de RH (Figura 17). A cada nível de RH fornecido, obteve-se o acréscimo de 2,52 Mg ha⁻¹ de açúcar, totalizando a produção média estimada de 25,09 e 35,19 Mg ha⁻¹ de açúcar para os níveis de RH de 0 e 100% respectivamente, que equivale a diferença de rendimento de 40,25% na produção de açúcar, quando comparado a cultura que recebeu a irrigação suplementar plena (100% RH) com a que contou apenas com a precipitação efetiva do local (0% RH). Isso se deve ao maior acúmulo de biomassa das plantas a medida que era

suprido o estresse hídrico, visto que os teores de sacarose da cana (Pol) não tiveram incrementos significativos em razão da irrigação por gotejamento subsuperficial.

Os valores estimados para RBAÇ podem ser considerados bons para a região, pois estão bem acima da média geral do país e do estado. Resultados semelhantes foram encontrados por Gava et al. (2011) em cana-soca irrigada e de sequeiro, que obtiveram produtividades de açúcar de 23,6 e 17,8 Mg ha⁻¹, respectivamente nos dois tipos de manejos. Dalri & Cruz (2008) obtiveram produtividade de açúcar de 18,9 Mg ha⁻¹, com fertirrigação por gotejamento subsuperficial, na variedade RB 72454, ciclo de primeira soca.

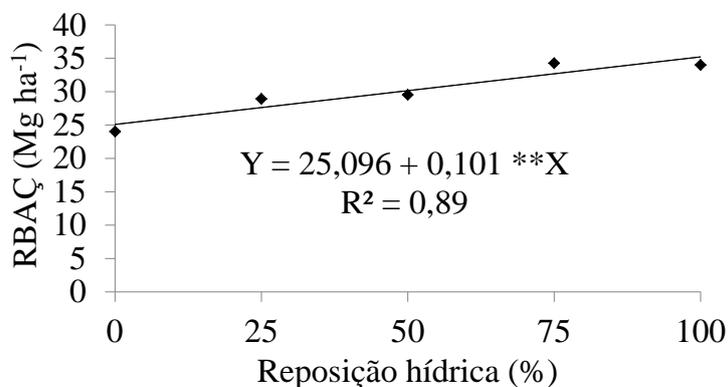


Figura 17. Rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) da soqueira de cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

Para RBAL em função da reposição hídrica houve significância, comportando-se de forma linear. A cada RH avaliada ocorreu em acréscimo estimado de 1,77 m³ ha⁻¹ de álcool, correspondente ao aumento de 39,80% entre RH de 0 e 100%, totalizando a produção média de álcool estimada de 17,84 e 24,94 m³ ha⁻¹ nas respectivas RH (Figura 18). Ou seja, a cada 1% da RH aplicada se obteve o aumento estimado de 0,39% no RBAL. Resultados que se assemelham aos obtidos por Oliveira et al. (2014), cuja máxima produtividade atingida foi de 25,34 m³ ha⁻¹ com 80% RH, com a mesma cultivar, RB 85-5453, em parcelas com mesmo tamanho deste experimento, porém no ciclo anterior.

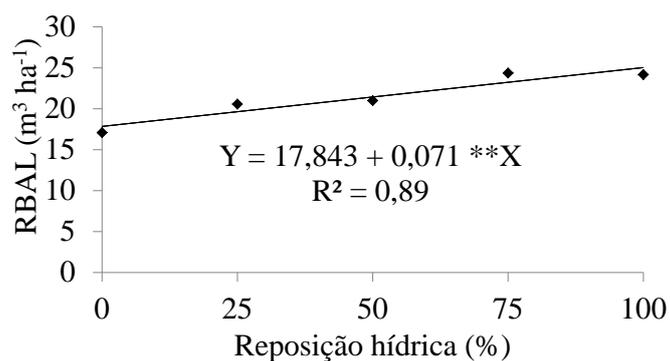


Figura 18. Rendimento bruto de álcool (RBAL) da soqueira de cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

Ambos os valores encontrados para RBAL podem ser considerados satisfatórios para região e são superiores aos descritos por Carvalho et al. (2009) para a variedade SP791011 de cana-de-açúcar, em que o maior RBAL foi de 10,88 m³ ha⁻¹ no tratamento irrigado, e o menor de 6,89 m³ ha⁻¹ no tratamento sem irrigação.

6 CONCLUSÕES

1. Os índices biométricos foram influenciados positivamente pela reposição hídrica e pela adição de nitrogênio em algumas das épocas avaliadas.
2. A reposição hídrica de 100% via gotejo subsuperficial possibilitou o incremento de 39,89% na produtividade de colmos, 40,25% na produtividade de açúcar e 39,80% na produtividade de álcool em relação ao manejo de sequeiro.
3. O incremento na oferta de água à cana-açúcar de primeira soca proporcionou aumento linear na produtividade de colmos, de açúcar e de álcool.
4. A aplicação de nitrogênio não resultou em efeito significativo na produtividade do segundo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar.
5. Os diferentes níveis de reposição hídrica e de nitrogênio não influenciaram a eficiência de uso da água pela primeira soqueira de cana-de-açúcar.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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 em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana- de- açúcar**. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf >. Acesso em 11 out. de 2008.

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.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.21, p.163-203, 1962.

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.

CATTIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F. W.; MAZZUCOTELLI, E.; MASTRANGELO, A. M.; FRANCA, E.; MARE, C. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v.105, p.1-14, 2008.

CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.6, p.32-38, 1987.

CLAY, D. E.; CLAY, S. A.; LYON, D. J.; BLUMENTHAL, J. M. ¹³C discrimination in corn grain can be used to separate and quantify yield losses due to water and nitrogen stresses. **Weed Science**, Ithaca, v.53, p.23-29, 2005.

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.

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. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.196-203, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, Quarto Levantamento, Brasília, abril/2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_10_09_00_57_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_13.pdf> Acesso em: 11 jun. 2014.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. 5.ed. Piracicaba, 2006. 112p.

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.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, v.28, n.3, p.516-524, 2008.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. da C.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, H. M. de; ZEVEDO, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.283–288, jan. 2006.

DEMATTÊ, J. L. I. **Cultura da cana-de-açúcar: recuperação e manutenção da fertilidade dos solos**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. 24 p. Informações Agronômicas, 111.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV. p.25-49, 2010.

DOORENBOS, J. ; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: F.A.O., 1994. 306 p.(Estudos FAO Irrigação e Drenagem 33).

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMAN, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S; LOPES, P. P. **Soil Water Retention Curve (SWRC).** Version 3.0, Piracicaba, 2001. Software.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

FALCONNIER, R. **La canne à sucre.** Paris: Maisonneuve et Larose, 1991. 165p.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2008.

FARONI, C. A. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar.** 2008. 190 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta.** 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

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. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v.6, n.1, p.27-43, 2012.

GASCHO, G. J. Water-sugarcane relationships. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 48, p.11-17, 1985.

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.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de N em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.

GHANNOUM, O. C4 Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v.103, p.635-644, 2009.

GHOULAM C.; FOURSY A.; FARES K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, v.47, p.39-50, 2002.

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.

GUAZZELLI, M. A. M.; PAES, L. A. D. Irrigação de cana-de-açúcar comercial. In: SEMINARIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1997. 11p.

HESCHEL, M. S.; RIGINOS, C. Mechanisms of selection for drought stress tolerance and avoidance in *Impatiens capensis* (Balsaminaceae). **American Journal of Botany**, v.92, p.37-44, 2005.

HUMBERT, R. P. Planting of sugar cane. In: HUMBERT, R.O. **The growing of sugar cane**. Amsterdam. Elsevier, 1968. p.103-130.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.76, p.71-84, 2002.

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.

KAJIHARA, D.; GODOY, F.; HAMAJI, T. A.; BLANCO, S. R.; SLUYS, M. V.; ROSSI, M. Functional characterization of sugarcane mustang domesticated transposases and comparative diversity in sugarcane, rice, maize and sorghum. **Genetics and Molecular Biology**, v.35, n.3, 2012.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 133p. 1975.

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**. Amesterdam: Elsevier, 2007. 618p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, v.25, p.275–294, 2002.

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 em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.

LELIS NETO, J. A. **Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solo**. 89 f, 2008. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2008.

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. **Anais...** 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.

LI, J.; ZHANG, J.; REN, L. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. **Irrigation Science**, Berlin, v. 22, p. 19–30, 2003.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 87 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MATIOLI, C. S.; PERES, F. C.; FRIZZONE, J. A. Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25 CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2, 1996, Bauru. **Anais...** Compact-disc. Bauru, 1996.

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 e Agrotecnologia**, v.29, p.753 -760, 2005.

NEPOMUCENO, A. L.; OOSTERHUIS, D. M.; STEWART, J. M. Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. **Environmental and Experimental Botany**, v.40, p.29-41, 1998.

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.; 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, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MEGGUER, C. A. Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.11, p.993-1000, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOERLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, cana planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agrária**, v.5, n.1-2, p.87-94, 2004.

ORON, G.; DEMALACH, Y.; GILLERMAN, L.; DAVID, I. Pear response to saline water application under subsurface drip irrigation. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1991, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1991. p. 97-103.

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.

PIMENTEL, C.; ROY-MACAULEY, H.; ABOUD, A. C. S.; DIOUF, O.; SARR, B. Effects of irrigation regimes on the water status of cowpea cultivated in the field. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.5, p.153-159, 1999.

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: 2007. p. 1-15.

ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.11-25, 1996.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.389–396, 2009.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. **Irrigação da cana-de-açúcar**. In: Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.1, p. 373-431.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; MOURA, L. M. F.; MOURA, L. C.; TEIXEIRA, M. B. Crescimento da cana-de-açúcar sob aplicação de nitrogênio via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, nº1, p.1-11, 2014.

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.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004. 719 p.

THORBURN, P. J.; DART, I. K.; BIGGS, I. M.; BAILLIE, C. P.; SMITH, M. A.; KEATING, B. A. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. **Irrigation Science**, v.22, p.201-209, 2003.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

URIBE, R. A. M.; GAVA, G. J. de C.; SAAD, J. C. C.; KÖLLN, O. T. Ratoon sugarcane yield integrated drip-irrigation and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1124-1133, nov./dez. 2013.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.