

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

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA, COM E SEM ADIÇÃO
DE NITROGÊNIO**

Autor: Willian Marques Pires
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
Janeiro - 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

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA, COM E SEM ADIÇÃO
DE NITROGÊNIO**

Autor: Willian Marques Pires
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

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

RIO VERDE - GO
Janeiro – 2014

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

P746c Pires, Willian Marques.

Cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio / Willian Marques Pires. - 2014.

70 f.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2014.

Biografia.

Inclui índice de tabelas, símbolos, siglas e abreviaturas.

1. Cana-de-açúcar. 2. Irrigação. 3. Nitrogênio. I. Título. II. Autor. III. Orientador.

CDU: 633.61:626.8

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

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇUCAR SOB
DIFERENTES NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA, COM
E SEM ADIÇÃO DE NITROGÊNIO**

Autor: Willian Marques Pires
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

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

APROVADA em 31 de janeiro de 2014.

Dr. João Alberto Lelis Neto
Avaliador externo
IRRIGABRAS/SP

Dr. José Joaquim De Carvalho
Avaliador interno
(Bolsista PNPd) IF Goiano/RV

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

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

DEDICATÓRIA

A Deus, por sempre me iluminar e conceder chuvas de bênçãos na minha vida.

À minha esposa, Bruna, por me apoiar em todos os meus projetos e na nossa jornada de vida.

À minha mãe, Cleusa, e minha avó, Gabriela, por sempre me incentivarem e me dar todo suporte para conquistar um futuro melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Agradeço em especial à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela concessão da bolsa de mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, pela orientação, confiança e suporte referente ao presente trabalho, além da amizade e compreensão em momentos difíceis.

Agradeço ao meu co-orientador Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares, por estar sempre disponível e disposto a ajudar e colaborar para que o trabalho realizado fosse o melhor possível.

Agradeço a todos os demais professores e servidores administrativos vinculados ao Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias pelo suporte e agilidade em atender as minhas solicitações.

Agradeço a todos os colegas de mestrado pelas horas passadas juntos estudando, discutindo as matérias ou conversando à toa também, com certeza vocês tornaram o processo menos árduo e mais divertido.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Willian Marques Pires, nascido em Santa Vitória, Minas Gerais, porém criado majoritariamente desde os sete anos em Paranaiguara, Goiás, filho de Cleusa Marques Silva e Wilson de Barros Pires, iniciou sua formação acadêmica no Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde, atual IF Goiano Câmpus Rio Verde, onde em 2007 concluiu seu curso Técnico em Agropecuária, iniciado no ano anterior.

Ainda em 2007, ingressa na primeira turma do recém-criado curso de Agronomia da referida instituição, concluindo o mesmo em 2011.

Paralelo à graduação, foi aprovado em concurso público federal em 2008 para exercer o cargo de Assistente Administrativo na mesma instituição de ensino na qual iniciou e constituiu a base de sua formação acadêmica, continuando atualmente a exercer este cargo.

Em 2012 foi aprovado como aluno regular do curso de Mestrado em Ciências Agrárias do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, com pretensões de defesa de título no início de 2014.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	Ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	Xii
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 A Cultura da Cana-de-açúcar.....	18
2.2 Variedades de Cana-de-açúcar.....	18
2.3 Biometria da Cana-de-açúcar.....	20
2.4 Irrigação na Cultura da Cana-de-açúcar e Déficit Hídrico.....	21
2.5 Irrigação por Gotejamento e Irrigação por Gotejamento Subsuperficial.....	23
2.6 Fertirrigação Via Gotejamento Subsuperficial.....	25
2.7 Adubação Nitrogenada na Cana-de-açúcar.....	26
3 OBJETIVO GERAL.....	28
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 Caracterização da Área Experimental.....	29
4.2 Delineamento Experimental.....	29
4.3 Preparo do Solo.....	31
4.4 Adubação de Fundação e Cobertura.....	32
4.5 Plantio.....	33
4.6 Sistema de Irrigação.....	33
4.7 Manejo da Irrigação.....	34
4.8 Captação de Água.....	36
4.9 Avaliações Biométricas.....	37
4.10 Balanço Hídrico.....	37
4.11 Colheita.....	38
4.12 Análise Estatística.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 Variáveis Biométricas.....	40
5.2 Fitomassa da Parte Aérea.....	48
5.3 Variáveis Produtivas.....	52
6 CONCLUSÕES.....	57
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade.....	29
Tabela 2.	Volumes de água aplicados para cada nível de reposição hídrica.....	38
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para altura de planta, diâmetro de colmo e área foliar da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio, nos diferentes dias após o plantio.....	43
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para fitomassa de colmo (FC), fitomassa do ponteiro (FFP), fitomassa de folha seca (FFS), fitomassa total (FT) e relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de.....	49
Tabela 5.	nitrogênioResumo da análise de variância para produtividade de colmo (PCH), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ), rendimento bruto de álcool (RBAL), eficiência de uso da água (EUA) e número de perfilhos industrializáveis (NPI) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem aplicação de nitrogênio.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de distribuição das parcelas na área experimental	30
Figura 2.	Fotos Ilustrativas das Parcelas Referentes aos Tratamentos de Reposição Hídrica.....	30
Figura 3.	Detalhe de marcação de plantas para monitoramento da evolução biométrica (A); visão geral da área do experimento (B); e visão da parcela com o plantio em fila dupla (C).....	31
Figura 4	Preparo do solo da área experimental.....	31
Figura 5	Preparo dos sulcos para plantio em fila dupla na área experimental.....	32
Figura 6.	Calagem e distribuição de adubos dentro dos sulcos para plantio em fila dupla.....	32
Figura 7.	Plantio das mudas de cana-de-açúcar dentro dos sulcos para plantio em fila dupla.....	33
Figura 8.	Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.....	34
Figura 9.	Croqui de instalação dos tensiômetros	35
Figura 10.	Malha hidráulica do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial	36
Figura 11.	Balanço hídrico da cana-de-açúcar em manejo de sequeiro. DEF – Déficit hídrico. Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Fases da cultura (adaptado de Doorenbos e Kassam, 1994).....	38
Figura 12.	Altura de planta da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 90 DAP; B – 120 DAP; C – 150 DAP; D – 180 DAP; E – 210 DAP; F – 240 DAP; G – 270 DAP; H – 300 DAP; e I – 330 DAP.....	44
Figura 13.	Diâmetro de colmo da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 120 DAP; B – 150 DAP; C – 180 DAP; D – 210 DAP; E – 240 DAP; F – 270 DAP; G – 300 DAP; e H – 330 DAP.....	46
Figura 14.	Área foliar da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 120 DAP; B – 150 DAP; C – 180 DAP; D – 210 DAP; E – 240 DAP; F – 270 DAP; G – 300 DAP; e H – 330 DAP.....	47
Figura 15.	Fitomassa total (FT) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.....	50
Figura 16.	Relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC)	

	da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.....	50
Figura 17.	Produtividade de colmos (PCH) da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica.....	53
Figura 18.	Rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) da cana-de-açúcar em função da reposição.....	54
Figura 19.	Rendimento bruto de álcool (RBAL) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.....	55
Figura 20.	Número de perfilhos industrializáveis da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

AF.....	Área foliar (cm ²)
AP.....	Altura de planta (cm)
DAP	Dias após o plantio
DC	Diâmetro de colmo (mm)
EUA.....	Eficiência de uso da água (mm t ⁻¹ ha ⁻¹)
FP.....	Fitomassa fresca do ponteiro (t ha ⁻¹)
FP/FC.....	Relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (%)
FS.....	Fitomassa de folha seca (t ha ⁻¹)
FT.....	Fitomassa fresca total da parte aérea (t ha ⁻¹)
IGS.....	Irrigação por Gotejamento Subsuperficial
NPI.....	Número de perfislos industrializáveis
PCH.....	Produtividade de colmos (t ha ⁻¹)
PE.....	Precipitação efetiva
RH.....	Reposição hídrica
RBAÇ.....	Rendimento bruto de açúcar (t ha ⁻¹)
RBAL.....	Rendimento bruto de álcool (m ³ ha ⁻¹)
VTA.....	Volume total de água aplicado pela irrigação

RESUMO

PIRES, Willian Marques. **Cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio**. 2013. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO.

A cana-de-açúcar é uma cultura que, responde altamente a irrigação. No entanto, o aprimoramento das técnicas de manejo se torna necessário para atingir a máxima eficiência no uso dos recursos hídricos, visando máxima produtividade com o menor volume de água utilizado. Dessa forma, objetivou-se neste estudo avaliar os índices biométricos em diferentes fases de desenvolvimento, os índices de produtividade, a eficiência de uso da água e a fitomassa fresca da cana-de-açúcar, em diferentes níveis de reposição hídrica por sistema de gotejamento subsuperficial, com e sem aplicação de nitrogênio ao longo do cultivo. O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, GO. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0% de umidade do solo na capacidade de campo) combinados sem e com aplicação de fertilizante nitrogenado (0 e 100 kg ha⁻¹ de N) na forma de ureia. Foram avaliados a altura de planta, diâmetro de colmo e área foliar de três plantas situadas na área útil de cada parcela, em nove etapas mensalmente a partir dos 90 DAP (dias após plantio), correspondendo aos seguintes períodos: 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 DAP. Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. A irrigação por gotejamento subsuperficial forneceu condições adequadas para o crescimento da cana-de-açúcar. Os níveis de reposição hídrica contribuíram linearmente nos parâmetros de desenvolvimento e na produtividade de colmos. O déficit hídrico provocou reduções severas na fitomassa total da parte aérea das plantas. A adubação nitrogenada contribuiu no desenvolvimento das variáveis biométricas nas últimas fases de desenvolvimento da cultura e permitiu melhoria nos índices tecnológicos da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: gotejamento subsuperficial, fertirrigação, déficit hídrico, crescimento.

ABSTRACT

PIRES, Willian Marques. **Cultivation of sugarcane under different levels of water replacement, with and without nitrogen addition**. 2013. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Goiano Federal Institute – Câmpus of Rio Verde – GO.

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

Key-words: subsurface drip, fertirrigation, water deficit, growth.

1 INTRODUÇÃO GERAL

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

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

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

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

Pesquisas em várias regiões produtoras do mundo e do Brasil, com diferentes variedades de cana-de-açúcar, têm mostrado o efeito da irrigação no aumento da produtividade, além disso, a adubação nitrogenada se destaca como uma das práticas

culturais de maior demanda de pesquisas para a cana-de-açúcar, uma vez que os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDÖRFER et al., 2002). Porém, existem muitos trabalhos que mostram a importância do N na cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2013; FRANCO et al., 2011).

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

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

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

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das espécies mais cultivadas no Brasil, principalmente para produção de açúcar e álcool; uma das características que favorece o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil são as condições naturais extremamente favoráveis, fato que certamente será útil para firmar o seu devido lugar como futuro líder mundial na produção de etanol no mercado internacional (KOHLHEPP, 2010).

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 bicompostíveis na frota automotiva brasileira (COSTA, 2009); as perspectivas para esse segmento do agronegócio são de crescimento, principalmente pelo aumento da frota nacional de automóveis bicompostíveis e ao incremento da demanda mundial por etanol hidratado, uma vez que esse combustível apresenta um equilíbrio potencialmente positivo na produção de energia a partir da cana-de-açúcar (RENOUF et al., 2008; SMEETS et al., 2009), também corrobora para isso a produtividade do etanol da cana-de-açúcar por hectare no Brasil (6.800 litros ha⁻¹) ser quase o dobro daquela proveniente do milho nos Estados Unidos (3.800 litros ha⁻¹) (OLIVÉRIO, 2008). Além da produção do etanol, a cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) produz o bagaço, que é resultado do acúmulo de fitomassa, considerado como resíduo industrial e que pode ser utilizado para produção de energia elétrica através do processo de cogeração de energia (FREITAS et al., 2012).

2.2 Variedades de Cana-de-açúcar

Atualmente, há diversas variedades com diferentes características, que se adaptam ou não às adversidades durante o cultivo e o ciclo da cultura (SILVA et al., 2004).

As variedades de cana-de-açúcar são consideradas uma das colunas mestres da produção de matéria-prima e do crescimento sustentável do setor sucroenergético (BARBOSA, 2010). Maule et al. (2001) estudaram o comportamento de nove cultivares de cana-de-açúcar e não constataram diferença de uma mesma cultivar, no estágio de cana-planta, quando colhida em três diferentes épocas, dentro da mesma safra, em dois locais com solos diferentes, demonstrando a alta adaptabilidade das cultivares.

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar, de maneira geral teve aumentos expressivos no país decorrente de novas cultivares, manejo mais adequado do solo, uso de resíduos agroindustriais, aplicação racional de adubos e corretivos, expansão da safra, redução dos custos fixos, diversificação açúcar/etanol e a utilização de maturadores químicos permitindo a antecipação positiva da qualidade da matéria-prima (CARVALHO, 2004); deste modo nestas últimas três décadas foi marcante a contribuição do melhoramento, pois permitiu, pelo emprego de variedades geneticamente melhoradas, obter acréscimos de mais de 30% em produtividade agrícola e marcante evolução da qualidade da matéria-prima (ALONSO, 2009). O fornecimento de matéria-prima de qualidade tecnológica a fim de propiciar extração econômica é uma das maiores necessidades da indústria sucroalcooleira (LEITE et al, 2011).

As curvas de acúmulo de açúcar são dependentes da variedade. O conceito do “potencial de acúmulo” levou à chamada “regra do mínimo arrependimento”, por meio da definição de programação de colheita que permita maximizar os resultados da safra como um todo (DUARTE, 2009).

Para tanto, basta respeitar as características agronômicas de cada variedade em termos dos solos em que serão cultivadas, da sua capacidade de brotação de soqueira, e do seu potencial de acúmulo de sacarose, dentre outras (BERNADI et. al., 2008).

Carvalho et al. (2009), demonstraram a importância da irrigação ao utilizarem diferentes lâminas de irrigação, em Argissolo, e observarem incrementos para os ciclos de cana-planta e cana -soca. Segundo Oliveira et al. (2011) as variedades RB92579, RB72454 e SP81-3250 obtiveram ganhos acima de 180%, enquanto as variedades RB863129, RB867515 e SP79 -1011 tiveram os menores incrementos com uso da irrigação, mas de maneira geral sob irrigação, as variedades foram mais produtivas. O

aumento na produtividade de açúcar com o uso da irrigação também foi observado em outros estudos que avaliaram o efeito de diferentes lâminas de irrigação, em comparação ao cultivo de sequeiro (WIEDENFELD, 2000; MOURA et al., 2005; DANTAS NETO et al., 2006; CARVALHO et al., 2009), no entanto, os incrementos obtidos não ultrapassaram 60%, com uso da irrigação.

2.3 Biometria da Cana-de-açúcar

O sistema de produção da cana-de-açúcar, semelhante a outras culturas agrícolas, pode ser afetado por fatores relacionados à 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).

Santos et al. (2009), avaliando o crescimento da variedade RB75126, separaram em três fases de crescimento o ciclo de cana planta: 1ª fase – de intenso perfilhamento, até 120 dias após o plantio (DAP); 2ª fase – de grande crescimento em altura, estabilização do IAF e intenso acúmulo de material orgânico, de 120 a 240 DAP sendo o estágio mais importante do cultivo é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total e o estágio, e 3ª fase – de maturação dos colmos, entre 240 e 360 DAP; quando ocorrem reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos; o crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de baixas temperaturas ou, ainda, devido ao florescimento, dependendo da responsividade de cada genótipo às diferentes condições ambientais (DIOLA & SANTOS, 2010).

O crescimento de uma planta se caracteriza pelo aumento irreversível de tamanho e/ou peso e tem caráter quantitativo. Em geral, o crescimento se contrapõe: ao desenvolvimento, que é um termo mais abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas (diferenciação) e quantitativas experimentadas pela planta durante o seu ciclo (NOGUEIRA et al., 2006).

De acordo com Benincasa (2003), o crescimento de uma planta pode ser estudado através de medidas lineares (altura, peso, comprimento, diâmetro de inflorescência e etc.), superficiais, de peso, volumétricas e número de unidades estruturais.

De acordo com Larcher (2000), uma associação de gramíneas C₄, desenvolvendo-se nos trópicos e sub-trópicos, alcança valores máximos para a taxa de

crescimento da cultura de 50 a 60 g m⁻² dia⁻¹, durante o principal período de crescimento. No caso da cana-de-açúcar, o máximo rendimento obtido por área pode atingir até 8 quilogramas de massa seca por metro quadrado (Kg m⁻²).

Sinclair et al. (2004) relatam que o crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar estão relacionados com a temperatura incidente em cada estágio de desenvolvimento; estes ao estudarem o efeito das temperaturas mínimas ideais para o desenvolvimento das folhas, encontram limites diferentes de temperatura para cada variedade avaliada, tendo observado que a temperatura-base para desenvolvimento dos aparatos foliares estaria em torno de 10°C, variando conforme a variedade.

O aumento no perfilhamento, em até seis meses de idade, e posterior redução de cerca de 50%, seguida de estabilização tanto em cana-planta quanto em cana-soca, a partir dos nove meses, é característica fisiológica da cana-de-açúcar, também observada em estudos realizados por vários autores (CASTRO & CHRISTOFOLETI, 2005; SILVA et al., 2007).

Na cana-de-açúcar, os principais drenos de carboidratos são representados pelo crescimento da área foliar e do sistema radicular, além do próprio acúmulo de sacarose no colmo (MACHADO et al., 2008).

Dantas Neto et al. (2006) também observaram efeito significativo do diâmetro do colmo em função da disponibilidade hídrica, Casagrande (1991) lembra que o colmo da cana se constitui num reservatório onde é acumulada grande quantidade de sacarose, principalmente nos internódios basais.

Conseqüentemente, ocorre remobilização de energia e de carboidratos das raízes, para aumento do perfilhamento e alongamento do colmo (INMAN -BAMBER & SMITH, 2005; SINGH et al., 2007), que é estimulado pela produção do hormônio vegetal citoquinina, responsável pelo crescimento vegetativo da parte aérea das plantas (TAKEI et al., 2002).

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

2.4 Irrigação na Cultura da Cana-de-açúcar e Déficit Hídrico

A precipitação pluvial, nas regiões brasileiras que produzem cana-de-açúcar, é muito variável e má distribuída, sendo esse o principal fator limitante da produtividade e conseqüentemente dos rendimentos agroindustriais dessa cultura. Dessa forma segundo Gouvêa (2008) a disponibilidade de água para a cana-de-açúcar é o principal fator climático causador de variabilidade da produtividade. Entretanto, pelas variações locais de clima e de variedades, é difícil estabelecer uma relação entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar.

No caso da cana-de-açúcar, o efeito do déficit hídrico sobre a produtividade varia durante o ciclo da cultura. Doorenbos & Kassam (1979) quantificaram empiricamente o efeito da água sobre a planta e estabeleceram um fator de correlação entre a produtividade e a evapotranspiração, que foi definido como fator do efeito da água sobre o rendimento. Estes autores constataram que o efeito da água sobre o rendimento da cultura, correspondente à terceira fase (período de maturação), teve baixa influência sobre a produtividade.

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 grande crescimento, onde mesmo uma pequena redução na disponibilidade de água do solo pode afetar tanto a divisão celular quanto o alongamento celular em cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

O déficit hídrico na planta ocorre, na maioria das vezes, quando a taxa de transpiração é superior a de absorção de água, sendo comum durante o ciclo de diversas culturas agrícolas, inclusive em cana-de-açúcar (BARBOSA, 2010). Chaves et al. (2008) citam que a deficiência hídrica afeta vários aspectos do metabolismo da cana-de-açúcar, em especial a fotossíntese.

Assim, um conhecimento adequado de como os vegetais respondem a tal estresse abiótico é um dos pré-requisitos para escolher tanto a melhor variedade como as melhores práticas de manejo, visando, sobretudo, aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais (SMIT & SINGELS, 2006). Farias et al. (2008) citam que a irrigação pode mitigar ou anular os efeitos danosos da deficiência hídrica.

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; sendo que a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio (BERNARDO, 2008).

De acordo com Doorembos & Kassam (1979), varia de 1.500 a 2.000 mm por ano. Para Bernardo (2008), o consumo diário de água pela cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do país, depende da variedade, do estágio de desenvolvimento da cultura, da demanda evapotranspirométrica em função do mês e da região, em geral, tem variado de 2,0 a 6,0 mm/dia

A eficiência na produção de cana-de-açúcar tem evoluído nos últimos anos de acordo com os ambientes produtivos encontrados. Estes ganhos na eficiência são resultados de melhorias nas práticas de manejo e tecnologia aplicada aos canaviais. A irrigação já exerce papel fundamental como sendo um dos principais instrumentos para a modernização da agricultura brasileira, permitindo enormes benefícios ao cultivo da cana-de-açúcar (LELIS NETO, 2012). Segundo Dalri (2006), o manejo da irrigação em cana-de-açúcar vem se consolidando como uma ferramenta importante para elevar a produtividade da cultura, resultando em aumentos na produção de colmos e de açúcar (SOARES et al., 2004; DALRI & CRUZ, 2008).

No entanto, ela deve ser manejada racionalmente, a fim de evitar problemas de salinização dos solos e de degradação dos recursos hídricos e edáficos, uma vez que as condições climáticas dessas regiões, muitas vezes, são extremamente favoráveis à ocorrência desses problemas (LEVIEN et al., 2012).

A decisão de irrigar se torna decisiva para obter altas produções, mas para que essa opção seja rentável o aumento de produção de açúcar por cana, em função da irrigação, deve compensar o investimento com o sistema de irrigação, com a energia que será utilizada e com o custo da água (dependendo da região) (BARROS et al., 2012).

2.5 Irrigação por Gotejamento e Irrigação por Gotejamento Subsuperficial

O incremento de produtividade da cana-de-açúcar pode ser obtido através do manejo eficiente da irrigação que depende, dentre outros fatores, da estimativa correta da evapotranspiração da cultura (ET_c) a ser irrigada e do sistema de irrigação utilizado.

As características genéticas das plantas cultivadas também influenciam significativamente a eficiência da irrigação porque algumas variedades são mais responsivas às lâminas de irrigação.

Em virtude da tendência de decréscimo de disponibilidade de água para a agricultura e ao aumento dos custos de energia (LÓPEZ-MATA et al., 2010) além da crescente preocupação mundial com os recursos hídricos, torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos da produtividade. Uma boa estratégia de manejo da irrigação é fundamental para economizar água sem, no entanto, por em risco o rendimento das culturas (JALOTA et al., 2006; PEREIRA et al., 2009).

No sistema de irrigação localizado por gotejamento a liberação da água é realizada através de orifícios pequenos denominados emissores, e estes emissores são construídos nos mais diferentes tipos, modelos e características. O gotejamento é considerado como o primeiro sistema de irrigação localizado a ser instalado no Brasil (BERNARDO et al., 2005).

A primeira instalação ocorreu na década de 1960, em Israel (MARQUES et al., 2006). Dentre as vantagens dos sistemas localizados, Silva & Coelho, (2003), citam: controle rigoroso da quantidade de água a ser fornecida para a planta; baixo consumo de energia elétrica; facilidade de funcionamento 24 horas por dia; elevada eficiência potencial de aplicação de água; manutenção da umidade próxima à capacidade de campo; menor desenvolvimento de ervas daninhas entre as linhas de plantio; facilidade de distribuição de fertilizantes e outros produtos químicos junto à água de irrigação; pouca mão de obra e facilidade de automação; possibilidade de uso de águas salinas e residuárias.

Dentre os métodos de irrigação possíveis de utilização na cultura da cana-de-açúcar, tem-se destacado, a irrigação localizada, principalmente, o gotejamento subsuperficial. Esse sistema apresenta inúmeras vantagens comparativas em relação aos demais, dentre elas, a redução da evaporação da água, a redução de danos mecânicos ao sistema, a menor interferência com os tratamentos culturais e a melhor eficiência na aplicação dos fertilizantes dissolvidos na própria água de irrigação (fertirrigação), garantindo um melhor desenvolvimento (FARIAS et al., 2008), maior produção (GAVA et al., 2010) e com um produto de melhor qualidade (DALRI & CRUZ, 2008).

Segundo Aguiar (2002), na cana-de-açúcar no Brasil, a irrigação por gotejamento subsuperficial iniciou em 1996, com a instalação de ensaio em parceria da Netafim Brasil com a Copersucar, na usina São Martinho, em Pradópolis, SP. O objetivo do ensaio foi avaliar as respostas da cana-de-açúcar à aplicação de lâminas de irrigação e as respostas da produtividade potenciais de produção de algumas variedades.

O sistema possibilita provimento de água às culturas pela aplicação de baixo volume, reduzindo as perdas hídricas nos sistemas de cultivo (PARKES et al., 2010). Este método de irrigar é estudado por pesquisadores como: Teixeira et al. (2008), Coelho (2007), Enciso et al. (2007), Barros et al. (2009), que buscam estabelecer a melhor forma de instalar e manejar a irrigação subsuperficialmente. Observam como causas das variações da eficiência de irrigar por gotejamento em subsuperfície as formas de localização dos equipamentos (emissores) no interior do perfil do solo (profundidade), a distância entre plantas e equipamentos, e buscam soluções para o entupimento dos emissores por intrusão de raízes.

De acordo com Coelho (2007), no sistema de irrigação localizada, a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso) ou superficiais (microaspersores). A proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total, o que pode resultar em economia de água. O teor de umidade do solo pode ser mantido alto por meio de irrigações frequentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição.

2.6 Fertirrigação Via Gotejamento Subsuperficial

De acordo com Dalri (2004) diversos autores definem a fertirrigação como aplicação de fertilizantes em estado líquido, juntamente com a água de irrigação. Essa operação, além de ser de grande utilidade para as plantas, pois o fertilizante é fornecido com a água que está sendo aplicada ao solo (essencial para sua absorção), apresenta ainda muitas outras vantagens, entre elas a melhor distribuição do fertilizante no campo, redução dos custos, redução da compactação do solo, maior flexibilidade de aplicação, possibilidade de aplicação em épocas críticas e redução de danos mecânicos à cultura.

Um fator significativo que deve ser destacado visto que influencia na produtividade das culturas, é a disponibilidade de água e de nutrientes. Segundo Bueno Junior (2008), o uso da irrigação melhorou o aproveitamento de nutrientes. Além da

disponibilidade dos nutrientes do solo e água, é atribuído ao pH, importância relevante no crescimento de raízes. As propriedades físicas do solo são associadas ao adequado crescimento das raízes das plantas, no entanto, devem estar associadas propriedades químicas do solo. Fator que pode limitar crescimento de raiz e desenvolvimento das plantas cultivadas (HERNANDEZ, 2010).

O uso da fertirrigação possui, de modo geral, a característica de melhorar a eficiência no uso dos nutrientes, haja vista serem aplicados de maneira fracionada, conforme a marcha de absorção de nutrientes da cultura (ROBERTS, 2008). A IGS se caracteriza pela aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura (LAMM & CAMP, 2007) favorecendo a eficiência do uso da água. A aplicação de fertilizantes via água de irrigação deve seguir as recomendações de período de aplicação, frequência, doses e fontes assegurando, dessa maneira, uma adequada disponibilidade de água e nutrientes na zona radicular da planta.

Quando bem manejada, a irrigação por gotejamento permite maior eficiência de aplicação de água e nutrientes (fertirrigação) (BARROS et al., 2010). A fertirrigação, além de ser de grande utilidade para as plantas, pois o fertilizante é fornecido com a água que está sendo aplicada ao solo (essencial para sua absorção), apresenta vantagens como, melhor distribuição do fertilizante no campo, redução dos custos, redução da compactação do solo, maior flexibilidade de aplicação, possibilidade de aplicação em épocas críticas e redução de danos mecânicos à cultura (DALRI, 2004).

Para que haja um aproveitamento efetivo da adubação, deve-se ter conhecimento sobre a época de aplicação, o comportamento do solo, a idade do canavial e a distribuição hídrica durante o ano (RIPOLI & RIPOLI, 2007).

Barbosa et al. (2012) trabalhando com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial no ciclo de cana-planta, verificou que a aplicação da vinhaça complementando a necessidade de potássio pela irrigação por gotejamento subsuperficial, favoreceu a produção de colmos em relação ao tratamento não irrigado.

Wiedenfeld & Enciso (2008), em estudos desenvolvidos com a aplicação de N por irrigação de gotejo subsuperficial em cana-de-açúcar verificaram que os resultados positivos da fertilização nitrogenada foram proporcionais a quantidade de água aplicada.

2.7 Adubação Nitrogenada na Cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 13 % do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil, com um total de 2,9 Mt, inferior somente ao consumido pelas culturas de soja (7,4 Mt) e milho (4,4 Mt) (ANDA, 2008).

A cultura é bastante exigente quanto à nutrição, sendo que na ordem de extração de nutrientes pela cultura, verifica-se que o potássio é extraído em maior quantidade que o nitrogênio (K>N>Ca>Mg>P). O mesmo é constatado na exigência de macronutrientes para produzir 100 toneladas de cana, em que são necessários 143 kg de N, 174 kg de K, 87 kg de Ca, 49 kg de Mg, 44 kg de S e 19 kg de P (ORLANDO FILHO et al., 1980).

A grande importância do nitrogênio para a cana-de-açúcar está no fato dela ser uma planta de metabolismo de carbono do tipo C4, caracterizado por altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização do nitrogênio e da energia solar, sendo altamente eficiente na produção de fotoassimilados. Como o nitrogênio é parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos, a sua carência promoverá a diminuição na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais e também na energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e produtividade da cultura (MALAVOLTA et al., 1997).

As plantas com níveis ideais de nitrogênio possuem alta concentração de clorofila, apresentando a coloração verde-escura. Sua deficiência reduz o crescimento da planta, podendo causar clorose das folhas, primeiramente nas mais velhas e posteriormente nas mais jovens, de acordo com o nível de deficiência. Problemas como menor número de folhas, menor perfilhamento e maturidade precoce podem também ser atribuídos à deficiência deste nutriente (ROSSETTO et al., 2008). Vitti et al. (2008) afirmam que o manejo inadequado da adubação nitrogenada pode prejudicar a longevidade do canavial, afetando sua produtividade e diminuindo o número de cortes entre as reformas.

Kölln (2012) estudando o acúmulo de biomassa e de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar no manejo irrigado com diferentes doses de N, mostrou que a fertilização nitrogenada aplicada juntamente a irrigação por gotejamento superficial elevou o acúmulo de fitomassa e de N da parte aérea da cana-de-açúcar, assim como a taxa de produção de matéria seca TPMS e taxa de acúmulo de N TAN.

3 OBJETIVO GERAL

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

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área Experimental

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

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

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

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

θ_{CC} , capacidade de campo (10KPa); θ_{PMP} , ponto de murcha permanente (1.500 KPa); Ds, densidade do solo; PT, porosidade total; pH em água destilada. P e K, extrator Mehlich¹. M.O - Matéria orgânica. V - Saturação por bases.

4.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições (Figura 1). Os tratamentos consistiram em

cinco níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0% de umidade do solo na capacidade de campo) combinados com e sem aplicação de fertilizante nitrogenado (0 e 100 kg ha⁻¹ de N) na forma de ureia. A Figura 1 demonstra o esquema de distribuição das parcelas correspondentes aos respectivos tratamentos na área experimental.

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

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

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

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



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



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

4.3 Preparo do solo

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



Figura 4. Preparo do solo da área experimental.

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



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

4.4 Adubação de fundação e cobertura

A área experimental foi quimicamente corrigida conforme o resultado da análise de solo, com aplicação de 30 kg ha^{-1} de N (ureia), 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 80 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio) (Figura 6). Na adubação de cobertura as parcelas em que foi prevista a aplicação de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio, este foi aplicado totalmente via água de irrigação (fertirrigação), parcelado em dez aplicações ao longo do ciclo da cultura, enquanto a adubação potássica foi realizada parcialmente no sulco de plantio, representando 30% do total, e os 70% restantes foram aplicados via água de irrigação em dez aplicações nas parcelas irrigadas, somente no tratamento com 0% de reposição hídrica, a aplicação dos nutrientes foi realizada parceladamente na linha dupla de plantio.



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

4.5 Plantio

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

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

Procurou-se manter 12 gemas sadias por metro linear de sulco. Cobriu-se as mudas com 0,07 metro de camada de terra, que foram posteriormente compactadas (Figura 7).



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

4.6 Sistema de irrigação

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

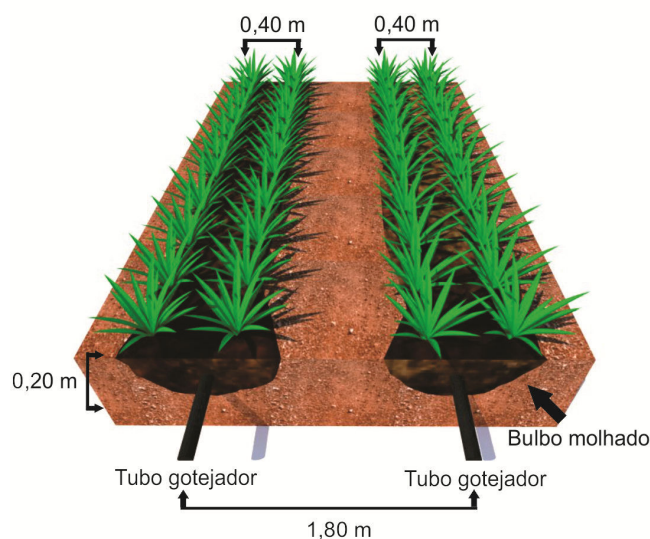


Figura 8. Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.

4.7 Manejo da Irrigação

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

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

sendo:

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

Ψ_m – potencial matricial, mca.

A Figura 9 esquematiza o croqui de distribuição das hastes tensiométricas e a instalação em campo dentro de cada parcela representativa de determinada lâmina de irrigação com o intuito de permitir o estudo da formação do bulbo molhado.

✦ Gotejador (distância de 0,45 m entre gotejadores na linha)

□ Haste tensiométrica (20 cm)

■ Haste tensiométrica (40 cm)

■ Haste tensiométrica (60 cm)

■ Haste tensiométrica (80 cm)

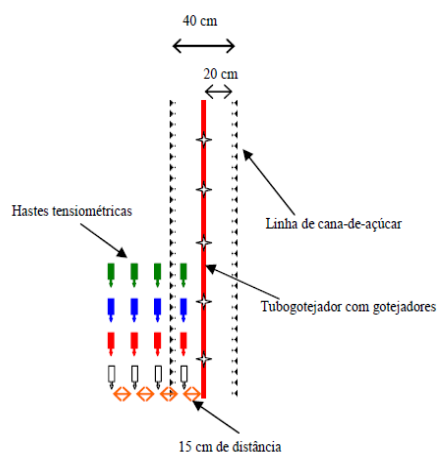


Figura 9. Croqui de instalação dos tensiômetros.

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

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

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

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

em que:

LL = lâmina a ser aplicada (mm);

θ_{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, se determinou o volume de água aplicado para cada nível de reposição hídrica, sendo que nos tratamentos de 100% baseou-se na elevação da umidade do solo para a capacidade de campo. Para os demais tratamentos, foram aplicadas lâminas de acordo com a porcentagem prevista de reposição hídrica. Ao final do experimento, contabilizou-se o volume total de água aplicado pela irrigação, sendo 0, 126, 252, 378 e 504 mm de água para os níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% de reposição hídrica, respectivamente.

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

4.8 Captação de água

A captação da água foi realizada em represamento do córrego, distante 300 metros da área. O cabeçal de controle da irrigação foi instalado na porção mediana da área experimental, composto de filtro, sistema injetor de fertilizante tipo Venturi, manômetro, registros e válvulas anti-vácuo. Os registros, no total de 8 (oito), liberavam a irrigação para os tratamentos irrigados, separando-os conforme o nível de reposição hídrica a ser aplicada e conforme aplicação ou não de nitrogênio. Dos registros saíram as tubulações de PVC, onde foram conectadas as linhas laterais (Figura 11).



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

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

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

Com 50 dias após plantio, realizou-se a operação de “quebra-lombo”, onde se carrou a terra retirada na confecção dos sulcos de plantio, e que estavam entre as fileiras duplas para junto das brotações da cana-de-açúcar.

4.9 Avaliações Biométricas

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

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

4.10 Balanço Hídrico

A partir dos dados climatológicos do período experimental, foi elaborada a estimativa do balanço hídrico decendial para a cana-de-açúcar em manejo de sequeiro, empregando o método de Thornthwaite e Mather (1955) modificado por Camargo (1962), sendo que a Evapotranspiração de Referência (E_{t_0}) foi calculada segundo a equação de Penman-Monteith (Monteith, 1973) (Figura 11).

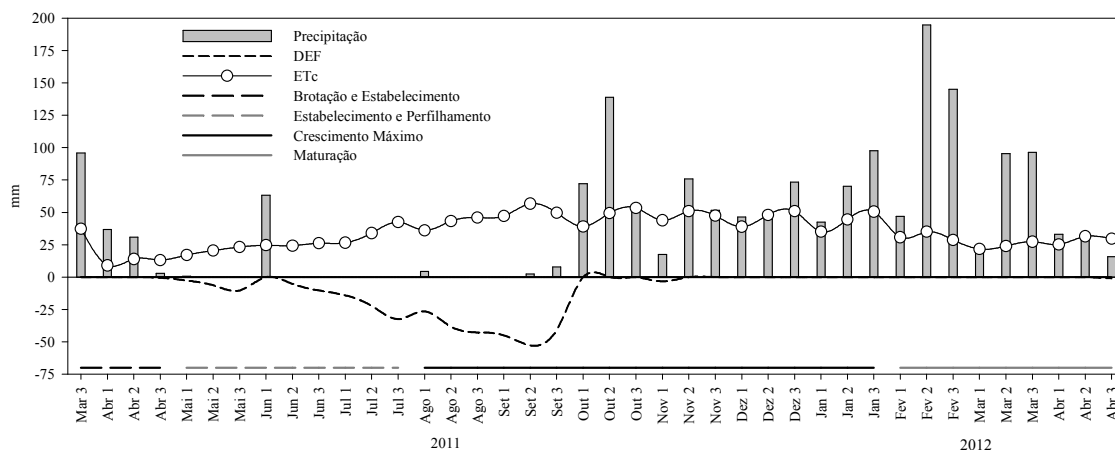


Figura 11. Balanço hídrico da cana-de-açúcar em manejo de sequeiro. DEF – Déficit hídrico. ETc – Evapotranspiração da cultura. Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO. Fases da cultura (adaptado de Doorenbos e Kassam, 1994).

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

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

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

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

4.11 Colheita

Após os 395 dias do plantio, foi realizada a colheita da área útil de cada parcela (metro linear central da linha principal) e realizada a pesagem das seguintes partes separadamente: peso dos colmos, peso dos ponteiros e peso de folhas secas. Esses valores foram utilizados para determinação da fitomassa fresca do ponteiro (FP t ha⁻¹), fitomassa de folha seca (FS, t ha⁻¹), fitomassa fresca total da parte aérea (FT, t ha⁻¹) e relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC, %). Para o cálculo da relação FP/FC, foi realizada a divisão dos resultados de FP pela produtividade de colmos (PCH), e posteriormente multiplicado por cem para obtenção do resultado em porcentagem. Foram coletados os colmos de dez plantas por tratamento e submetidas à

análise em laboratório para determinação da quantidade de açúcar bruto contido nos colmos da cana-de-açúcar.

Foram determinados a produtividade de colmos (PCH , $t\ ha^{-1}$), eficiência de uso da água (EUA , $mm\ t^{-1}\ ha^{-1}$), rendimento bruto de açúcar ($RBAÇ$, $t\ ha^{-1}$), rendimento bruto de álcool ($RBAL$, $m^3\ ha^{-1}$) e o número de perfilhos industrializáveis (NPI , perfilhos m^2). A PC foi determinada através da pesagem dos colmos da área útil de cada parcela, com auxílio de balança digital de mão, extrapolando para 1 ha. A EUA foi calculada através da relação entre o volume total de água recebido pelas plantas (VTA) e a PCH .

O NPI foi determinado por meio da contagem das plantas na área útil. Os cálculos para rendimento bruto de açúcar ($RBAÇ$, $Mg\ ha^{-1}$) e rendimento bruto de álcool ($RBAL$, $m^3\ ha^{-1}$) foram realizados de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998), apresentadas nas equações 7 e 8, utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado por análise tecnológica do caldo.

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

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

em que:

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

PCH - produtividade de colmo ($t\ ha^{-1}$);

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

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

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

4.12 Análise Estatística

Os resultados das variáveis biométricas obtidas em cada fase de desenvolvimento e os índices de produtividade foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, e em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis de reposição hídrica,

enquanto para o fator aplicação de nitrogênio as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O balanço hídrico apresentado na Figura 11 permitiu observar a influência dos diferentes níveis de reposição hídrica no desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar nas diferentes épocas avaliadas. A precipitação total ao longo do ciclo da cultura foi de 1479,6 mm, retirando o volume de água percolado foram computados 1019 mm de precipitação efetiva (PE). A evapotranspiração total do ciclo da cultura (ETc) totalizou 1523 mm.

5.1 Variáveis Biométricas

A análise de variância realizada com os dados obtidos (Tabela 3) demonstrou que as fontes de variação analisadas não apresentaram interação significativa entre os fatores de reposição hídrica (RH) combinadas com nitrogênio (N). Dantas Neto et al. (2006) observaram resultados semelhantes, pois nenhuma das variáveis analisadas nos parâmetros de crescimento da cana-de-açúcar apresentou interação entre níveis de adubação e regime de irrigação, porém responderam significativamente à adubação de cobertura. Quando analisado isoladamente, a resposta da variável altura de planta (AP) da cana-de-açúcar ao fator RH mostrou diferença significativa a 1% de probabilidade em todas as fases de desenvolvimento da cultura analisados, assim como para a variável área foliar (AF), exceto aos 90 dias após o plantio (DAP), em que o grau de significância do teste F foi de 5% de probabilidade. Para o diâmetro de colmos (DC)

não foi observada significância aos 90 DAP, justificado pelo fato de ser início de desenvolvimento das plantas, não havendo a diferenciação em função dos níveis de RH; no entanto, a partir dos 120 DAP foi observada diferença significativa a 1% de probabilidade em todas as fases de desenvolvimento. Resultados contrários foram observados por Silva et al. (2008), registraram que o diâmetro de colmos não foi um indicador capaz de refletir diferenças em cana-de-açúcar cultivada sobre diferentes regimes hídricos.

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

Quando analisada a variável AP frente à presença e ausência de N, nas fases em que foi observada diferença significativa segundo teste Tukey, as plantas de cana-de-açúcar sofreram um acréscimo de 5,58 e 4,97 cm com aplicação de N, respectivamente, aos 300 e 330 DAP, correspondendo a um incremento de 1,96 e 1,59% (Tabela 3).

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

taxa de crescimento foi semelhante, ou seja, o N foi responsável pelo arranque inicial do DC.

O fornecimento de N provocou influência no desenvolvimento da AF somente a partir dos 240 DAP, com aumento de 4,06 m², o que corresponde ao acréscimo de 6,83%. Aos 270 e 300 DAP, o incremento na AF proporcionado pelo N foi menos expressivo, de 5,90 e 5,53%, respectivamente. Entretanto, o máximo desenvolvimento observado na AF com o fornecimento de N ocorreu aos 330 DAP, com o acréscimo de 6,76 m², representando o incremento de 8,51%, deparando com o final do parcelamento da aplicação de N (Tabela 3).

A adição do N diretamente na zona radicular pode ter contribuído para a disponibilidade desse nutriente nas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar mais avançadas, por proporcionar a contribuição direta na acelerada dispersão do N no ambiente, permitindo que estas plantas aproveitassem em maior quantidade e por um maior período de tempo. Segundo Roberts (2008), o uso da fertirrigação possui, de modo geral, a característica de melhorar a eficiência no uso dos nutrientes, haja vista serem aplicados de maneira fracionada, conforme a marcha de absorção de nutrientes da cultura.

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

A partir dos 150 DAP, período em que compreende o início do estágio de crescimento máximo da cana-de-açúcar, o desenvolvimento de AP foi influenciado de forma mais expressiva pela RH. A AP no tratamento com 100% de RH aos 150 DAP foi 33,77% superior ao manejo de sequeiro (0% de RH), com acréscimo de 5,13 cm a cada nível de RH em que as plantas foram submetidas (Figura 14C). FREITAS et al., (2012) destacaram que a diferença significativa entre a altura das plantas de cana-de-açúcar em

função das lâminas de irrigação iniciou aos 116 DAP, revelando que, a partir de então, a disponibilidade hídrica passou a ser um fator limitante ao desenvolvimento vegetativo da cultura.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de planta, diâmetro de colmo e área foliar da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio, nos diferentes dias após o plantio.

Variáveis	Quadrados Médio das Fontes de Variações						Nitrogênio	
	Reposição Hídrica (RH)	Nitrogênio (N)	Interação RH x N	Bloco	Resíduo	CV (%)	Com	Sem
DAP	Altura de Planta (AP)						AP (cm)	
							Com	Sem
90	58,37**	0,02 ^{ns}	11,25 ^{ns}	4,53 ^{ns}	12,67	10,03	35,52a	35,47a
120	153,06**	14,08 ^{ns}	14,83 ^{ns}	12,96 ^{ns}	13,16	7,19	51,07a	49,88a
150	680,38**	116,04 ^{ns}	33,96 ^{ns}	6,30 ^{ns}	44,19	9,37	72,69a	69,28a
180	470,66**	12,58 ^{ns}	67,37 ^{ns}	29,03 ^{ns}	59,26	7,86	98,51a	97,39a
210	524,87**	2,83 ^{ns}	85,98 ^{ns}	12,58 ^{ns}	41,37	5,52	116,81a	116,29a
240	1042,63**	102,84 ^{ns}	50,40 ^{ns}	30,49 ^{ns}	56,57	5,20	146,26a	143,04a
270	770,19**	181,01 ^{ns}	15,16 ^{ns}	46,69 ^{ns}	51,06	3,64	194,32a	198,57a
300	1785,58**	310,52**	7,01 ^{ns}	59,28 ^{ns}	34,15	2,08	284,18a	278,60b
330	1085,06**	248,25**	33,75 ^{ns}	22,30 ^{ns}	20,30	1,45	312,23a	307,26b
DAP	Diâmetro do Caule (DC)						DC (mm)	
							Com	Sem
90	7,57 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,26 ^{ns}	3,30	8,48	21,63a	21,23a
120	17,39**	5,10 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,25 ^{ns}	2,27	5,93	25,79a	25,07a
150	18,14**	15,67*	0,59 ^{ns}	3,19 ^{ns}	3,23	6,45	28,52a	27,27b
180	15,31**	7,89*	0,29 ^{ns}	4,59 ^{ns}	1,94	4,63	30,60a	29,71b
210	14,66**	7,43*	0,45 ^{ns}	4,36 ^{ns}	1,67	4,05	32,34a	31,48b
240	14,29**	6,43*	0,46 ^{ns}	3,79 ^{ns}	1,61	3,86	33,39a	32,59b
270	14,01**	7,62*	0,38 ^{ns}	3,78 ^{ns}	1,26	3,33	34,25a	33,38b
300	18,56**	5,97*	0,54 ^{ns}	3,14 ^{ns}	1,31	3,32	34,97a	34,20b
330	21,66**	6,01*	0,65 ^{ns}	2,95 ^{ns}	1,35	3,30	35,58a	34,80b
DAP	Área Foliar (AF)						AF (m ²)	
							Com	Sem
90	77,45*	7,81 ^{ns}	3,69 ^{ns}	0,19 ^{ns}	5,07	11,86	19,43a	18,55a
120	123,64**	23,82 ^{ns}	5,60 ^{ns}	2,61 ^{ns}	11,90	12,29	28,83a	27,29a
150	203,78**	27,98 ^{ns}	4,39 ^{ns}	4,75 ^{ns}	7,39	8,32	33,52a	31,85a
180	236,95**	33,74 ^{ns}	6,72 ^{ns}	12,39 ^{ns}	16,83	10,66	39,39a	37,55a
210	341,33**	33,26 ^{ns}	12,54 ^{ns}	13,16 ^{ns}	17,75	9,19	46,77a	44,94a
240	573,40**	164,55*	7,28 ^{ns}	12,34 ^{ns}	23,29	8,40	59,48a	55,42b
270	1262,34**	168,26*	15,09 ^{ns}	1,64 ^{ns}	27,32	7,75	69,52a	65,42b
300	2132,63**	194,87*	23,54 ^{ns}	19,20 ^{ns}	31,90	7,27	79,89a	75,47b

330 2380,89** 456,70** 36,47^{ns} 11,64^{ns} 15,72 5,22 79,41a 72,65b

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

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

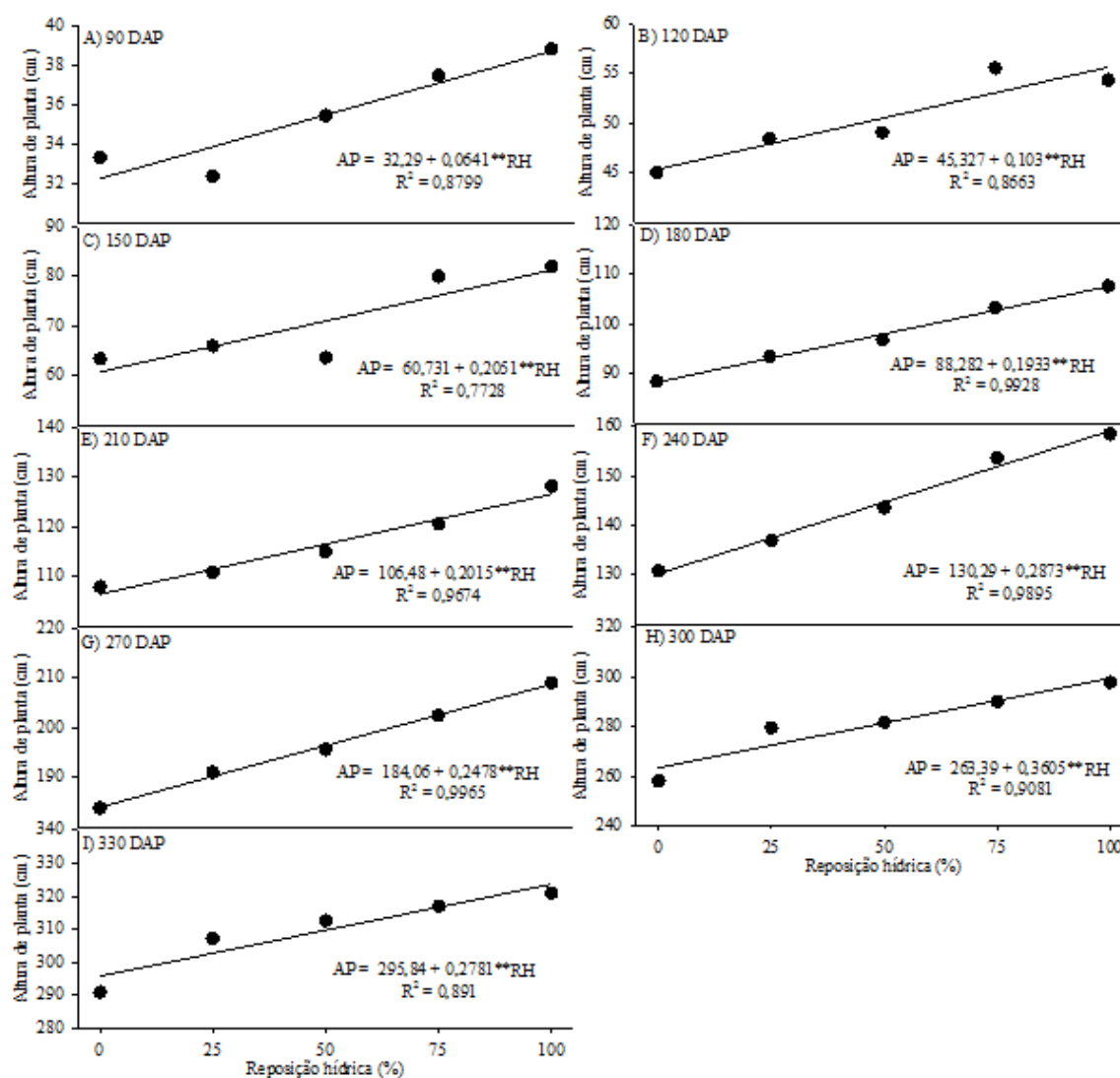


Figura 12. Altura de planta da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 90 DAP; B – 120 DAP;

C – 150 DAP; D – 180 DAP; E – 210 DAP; F – 240 DAP; G – 270 DAP; H – 300 DAP; e I – 330 DAP

Já ao final do estágio de crescimento máximo da cana-de-açúcar, o efeito da RH na AP foi menos expressivo. Os incrementos proporcionados pelo aumento de cada nível de RH foram de 6,19, 9,01 e 6,95 cm, respectivamente, aos 270, 300 e 330 DAP. O valor estimado dos níveis de reposição hídrica com 100% de RH foi 13,46, 13,69 e 9,40% superior ao manejo de sequeiro (0% de RH) (Figuras 12G, 12H e 12I). Destacando dessa maneira que houve certa retomada no desenvolvimento de AP naqueles tratamentos com restrição hídrica, provavelmente pela disponibilidade de água no solo proporcionado pelas chuvas, que se iniciaram ao fim do mês de setembro (Figura 11). Esses resultados corroboram com Oliveira et al. (2010), demonstrando que as variedades RB alcançaram valores de altura de planta superiores a 300 cm sob irrigação plena.

Os valores estimados de DC em função dos diferentes níveis de RH apresentaram tendência linear em todas as fases de desenvolvimento em que foi observada significância segundo teste F (Figura 13). A diferença no desenvolvimento do DC da cana-de-açúcar nos níveis de RH distintos foi semelhante nos diferentes períodos avaliados. Aos 120 DAP, o DC sofreu incremento de 3,92% a cada nível de RH avaliado, deparando com o valor estimado de 27,28 mm com irrigação plena (100% de RH) (Figura 13A).

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

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

No entanto, logo em seguida é observado um distanciamento nas médias de DC em analogia dos diferentes níveis de RH, destacando que, aos 330 DAP, alcançou-se

com 100% de RH um aumento de 4,15 mm em relação ao manejo de sequeiro (0% de RH), que representa o incremento de 3,13% para cada nível de RH acrescentado, obtendo o valor máximo de 37,26 mm (Figura 13H). Essa resposta é semelhante aos resultados obtidos por Dantas Neto et al. (2006) com cana-de-açúcar irrigada no nordeste brasileiro, que encontraram o incremento com uma lâmina total aplicada de 1343 mm de 30,0% em relação ao manejo de sequeiro, alcançando média de 24,67 mm de diâmetro de colmo.

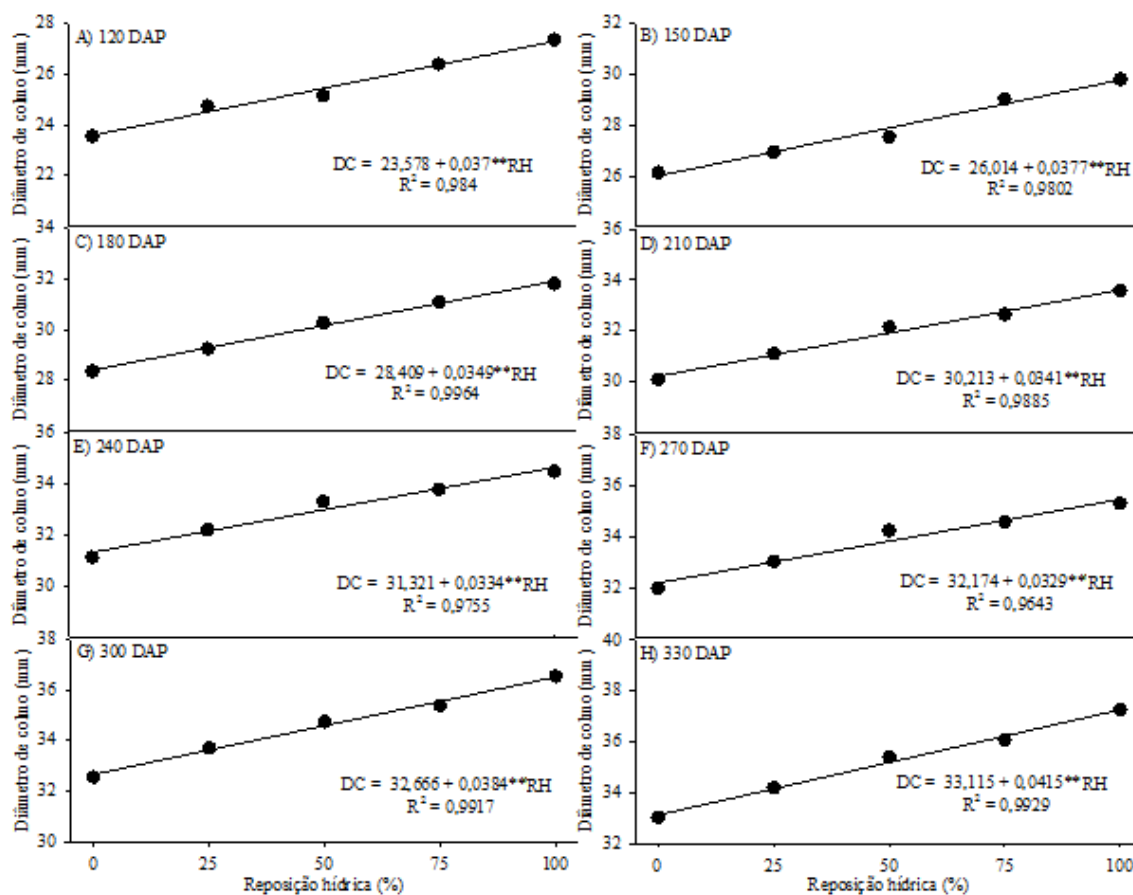


Figura 13. Diâmetro de colmo da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 120 DAP; B – 150 DAP; C – 180 DAP; D – 210 DAP; E – 240 DAP; F – 270 DAP; G – 300 DAP; e H – 330 DAP

O efeito na AF da cana-de-açúcar submetida aos diferentes níveis de RH indicou comportamento linear em todas as fases de desenvolvimento analisadas (Figura 14). A diferença entre os valores estimados de AF nos diferentes níveis de RH foi crescente de

acordo com a evolução das fases de desenvolvimento da cultura. Aos 90 DAP, a AF sofreu acréscimo de 1,85 m² a cada nível de RH, deparando com uma resposta máxima de 22,69 m² com 100% de RH (Figura 14A). Quando submetidas a condições de deficiência hídrica, as plantas apresentam uma série de alterações morfofisiológicas, tais como enrolamento da folha, alteração do ângulo da folha e redução da área foliar (CHAVES et al., 2008).

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

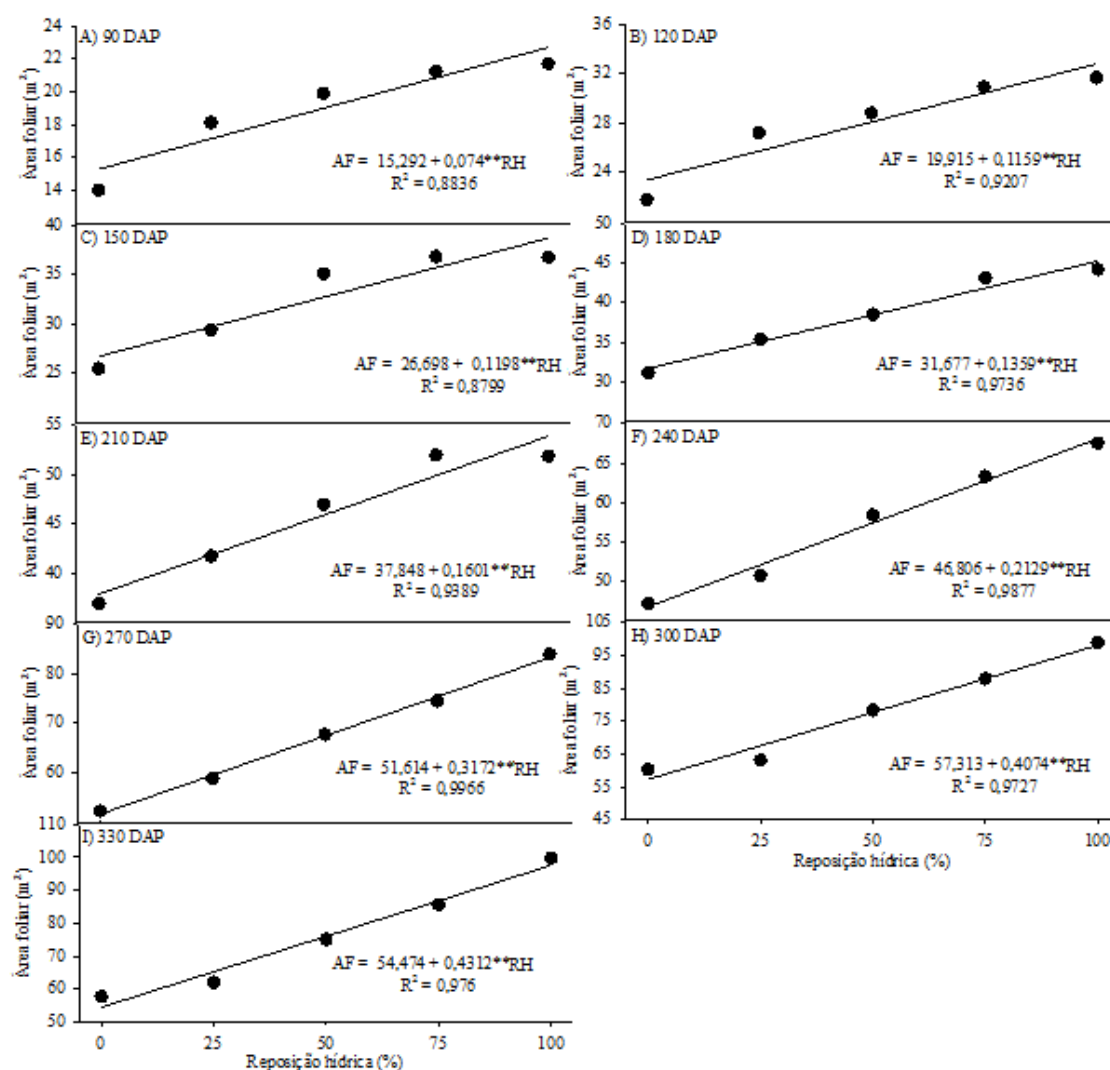


Figura 14. Área foliar da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura: A – 120 DAP; B – 150 DAP; C – 180 DAP; D – 210 DAP; E – 240 DAP; F – 270 DAP; G – 300 DAP; e H – 330 DAP.

Na sequência das fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, observa-se que a diferença de AF entre os diferentes níveis de RH foi aumentando gradativamente. Aos 240, 270, 300 e 330 DAP, foram observados acréscimos, respectivamente, de 11,37, 15,36, 17,77 e 19,79 m² a cada nível de RH. A irrigação plena (100% de RH) proporcionou nessas fases incrementos de 45,59, 61,46, 71,08 e 79,16% em relação ao manejo de sequeiro (0% de RH) (Figura 14F, 14G, 14H e 14I). Farias et al. (2007) observaram acréscimo de aproximadamente 46,0% no índice de área foliar da cana-de-açúcar com irrigação plena. A diferença expressiva entre os níveis de RH está relacionada principalmente ao baixo desenvolvimento de AF nos tratamentos com restrição hídrica, constatado pela taxa de crescimento com 0% de RH de apenas 4,81 e 5,70 m² nos períodos de 240-270 e 270-300 DAP, respectivamente, e redução de 2,84 m² no período de 300-330 DAP. Vale ressaltar que, para todos os níveis de RH, os valores máximos de AF foram encontrados aos 300 DAP, alcançando máxima resposta de 98,05 m² com 100% de RH.

O papel do dossel da cultura é um fator importante no rendimento de cultivos, interceptando a radiação solar que impulsiona os processos de fotossíntese e evaporação, além de provocar sombreamento sobre plantas daninhas (SMIT & SINGELS, 2006).

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

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

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

5.2 Fitomassa de Parte Aérea

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

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

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

* Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste F; ** Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F;

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

A fitomassa total (FT) das plantas de cana-de-açúcar respondeu positivamente a reposição hídrica, admitindo-se tendência linear segundo a análise de regressão ($R^2 = 0,78$) (Figura 15). A FT estimada em sequeiro foi de 44,9 kg m⁻², 26% inferior ao rendimento máximo, obtido com 100% de RH, com resposta de 60,8 kg m⁻². Farias et

al. (2008) observaram o desenvolvimento 72% superior na fitomassa seca total das plantas de cana-de-açúcar, com a utilização da irrigação. Conforme menciona Segato et al. (2006), com a maioria das poáceas, a cana-de-açúcar necessita de grandes quantidades de água para seu desenvolvimento, apresentando elevada eficiência na utilização e resgate de CO_2 da atmosfera, adaptada às condições de alta intensidade luminosa e altas temperaturas.

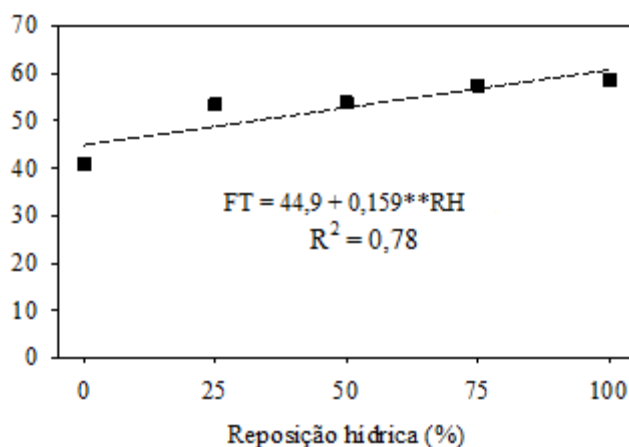


Figura 15. Fitomassa total (FT) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

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

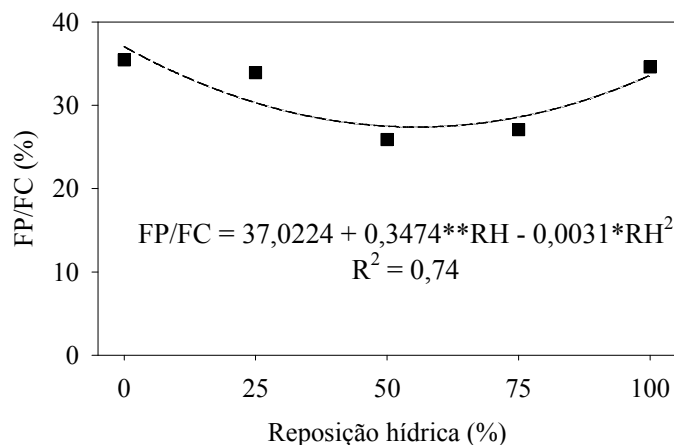


Figura 16. Relação entre fitomassa do ponteiro e fitomassa do colmo (FP/FC) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

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

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

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

A influência da adubação nitrogenada ocorreu somente para fitomassa do ponteiro (FP), representando o aumento de 14,68%, diferindo estatisticamente. Em

estudo da distribuição do N proveniente do fertilizante ureia nas plantas de cana-de-açúcar, Franco et al. (2008) observaram na ocasião da colheita que o acúmulo nas diversas partes da planta não variou com a dose de N empregada, sendo em média de 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes.

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

5.3 Variáveis Produtivas

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

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

Fonte variação	GL	Quadrados Médio				
		PCH	RBAÇ	RBAL	EUA	NPI
Reposição Hídrica (RH)	4	8424,45**	245,03**	122,70**	2,09 ^{ns}	23,33**
Nitrogênio (N)	1	6038,38 ^{ns}	222,45*	110,50*	4,36 ^{ns}	3,02 ^{ns}
Interação RH x N	4	441,10 ^{ns}	12,61 ^{ns}	6,31 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,08 ^{ns}
Blocos	3	1712,05 ^{ns}	36,54 ^{ns}	18,53 ^{ns}	1,86 ^{ns}	10,49 ^{ns}

Resíduo	27	1866,16	40,73	20,63	1,73	6,39
CV (%)		20,23	20,58	20,57	2,09 ^{ns}	11,51
Nitrogênio (N)		Médias				
Com		225,82 a	33,36 a	23,74 a	5,86a	22,25a
Sem		201,25 a	28,64 b	20,42 b	6,52a	21,70a
DMS		28,03	4,14	2,95	0,85	1,64

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

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

Os fatores avaliados não provocaram efeito significativo para eficiência de uso da água (EUA). Esse fato pode ser atribuído a alta precipitação efetiva ao longo do período experimental (PE = 1019 mm). No entanto, vale ressaltar que a ocorrência de chuvas na região se concentra em apenas um determinado período do ano, resultando em queda acentuada na produtividade de colmos nos diferentes níveis de RH. Segundo Ometto (1980), a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, podendo resultar em quedas acentuadas de rendimento.

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

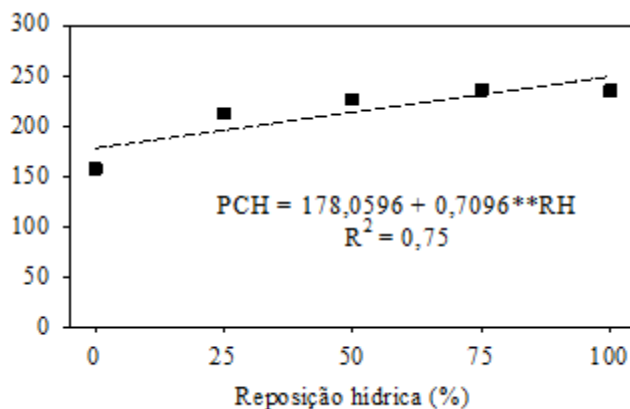


Figura 17. Produtividade de colmos (PCH) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

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

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

A análise de regressão evidenciou um comportamento quadrático para as médias de rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) em função da reposição hídrica ($R^2 = 0,98$) (Figura 18). O máximo rendimento estimado foi com uma reposição hídrica de 80,23%, representando resposta 37,9% superior ao manejo de sequeiro (RH 0%), que alcançou 22,15 t ha⁻¹ de açúcar, evidenciando queda de 2,3% em relação a RH 100%. O mesmo foi observado por Dalri *et al.* (2008), que observaram queda da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com a variedade RB 72454 quando utilizaram uma lâmina de irrigação 130 mm superior ao tratamento controle. O incremento alcançado em relação às plantas com déficit hídrico foi semelhante ao obtido por Gava *et al.* (2011), que observaram

acrécimo de 57% com a variedade RB 855536 sob um VTA de 1.714 mm, obtendo rendimento de 24,7 t ha⁻¹ de açúcar. A máxima resposta de RBAÇ foi inferior aos rendimentos das variedades RB 92579 e SP 813250 obtidos por Oliveira et al. (2011b), de 42,6 e 37,3 t ha⁻¹, respectivamente, com um VTA de 1396,6 mm. A média dos valores estimados para RBAÇ obtido no experimento foi de 31,12 t ha⁻¹, 12,74% inferior em relação ao máximo rendimento alcançado.

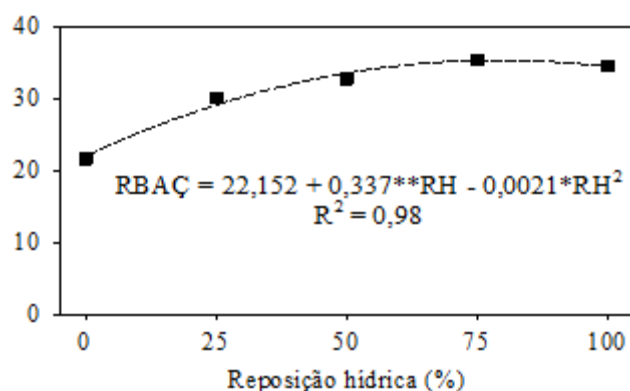


Figura 18. Rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

As respostas dos tratamentos para rendimento bruto de álcool (RBAL), em função da reposição hídrica, adequaram-se a curva quadrática ($R^2 = 0,98$). O ponto máximo da curva se deparou com o rendimento de 25,34 m³ ha⁻¹, valor obtido com a reposição hídrica de 79,67%, ocorrendo um decréscimo de 2,45% na resposta do tratamento com 100% de reposição hídrica. O RBAL médio foi de 22,15 m³ ha⁻¹, e o menor valor encontrado foi de 15,22 m³ ha⁻¹, valor 62,4% inferior ao rendimento máximo (Figura 19).

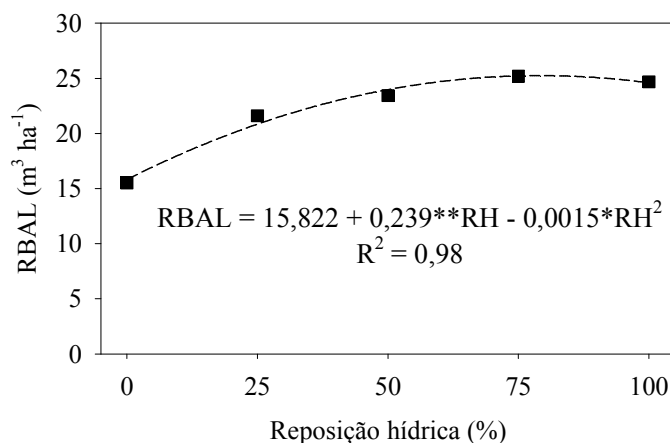


Figura 19. Rendimento bruto de álcool (RBAL) da cana-de-açúcar em função da reposição hídrica.

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

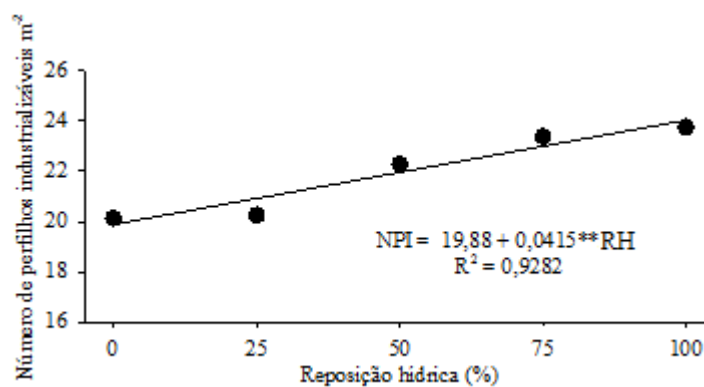


Figura 20. Número de perfilhos industrializáveis da cana-de-açúcar em função dos níveis de reposição hídrica.

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

O fator aplicação de nitrogênio provocou diferença significativa no RBAÇ. Desta forma, obteve-se o valor estimado de 33,36 $t ha^{-1}$ com fornecimento de 100 Kg ha^{-1} de nitrogênio de forma parcelada, resposta 14,1% superior ao valor das parcelas que

não receberam aplicação do nutriente ao longo do ciclo da cultura. O RBAL também sofreu interferência significativa da adubação nitrogenada (Tabela 4).

A média dos tratamentos que receberam a aplicação do nutriente foi 14% superior, obtendo rendimento de $23,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Dantas Neto et al. (2006) observaram que a adubação de cobertura nas doses de 157 kg ha^{-1} de N mais 148 kg ha^{-1} de K_2O , proporcionaram aumentos significativos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, com acréscimo de 39,8 e 42,2%, respectivamente, para RBAÇ e RBAL, alcançando o rendimento de $12,58 \text{ t ha}^{-1}$ de açúcar e $8,91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de álcool.

6 CONCLUSÕES

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

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: **Informe 2011**. Brasília: ANA, 2011, 112p.

AGUIAR, F. Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana. **Agriannual 2002**, São Paulo, p.256-7, 2002.

ALONSO, O. Raio x dos canaviais: Censo revela variedades mais cultivadas. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ed. 39. Ano IV. p. 20821, set. 2009.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.1, p.76-84, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2008.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.952-958, 2012.

BARBOSA, F. S. Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo. 2010. 81 p. **Dissertação** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

BARBOSA, F. S. Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo. **Dissertação** (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Esalq, Piracicaba - SP, 81 p., 2010.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.700–707, 2009.

BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MARIN, F. R.; POLZER, D. L.; NETTO, A. O. A. Utilização do modelo canegro para estimativa de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada para as regiões de Gurupi – TO e Teresina – PI. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 189 – 207. 2012.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-60, 1919.

BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; PAIVA, P.R.P. & MONTE, M.B.M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 794-800, 2008.

BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; PAIVA, P.R.P. & MONTE, M.B.M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 794-800, 2008.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana- de- açúcar**. Disponível em: <<http://www.agronegocio.goias.gov.br/docs/porta/seminarioIII.pdf>>. Acesso em 11 out. de 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 611 p. 2005.

BONNET, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 57, p. 1087-1095, 2006.

BUENO JUNIOR M. V. Variação de teores de fósforo disponível em solos cultivados com cafeeiros na região de Muzambinho. 2008. 29f. – **Trabalho de Conclusão de**

Curso (TCC do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho Muzambinho/MG, 2008.

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugarcane (*Saccharum officinarum*): A review. **Experimental Agriculture**. v.47, p.1-25, 2011.

CARVALHO, C. M. de; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. de A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n., p.72-77, 2009.

CARVALHO, C. M. de; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. de A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n., p.72-77, 2009.

CARVALHO, C.M. de; AZEVEDO, H.M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. de A.; SILVA, C.T.S. da; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana - de -açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.72 -77, 2009.

CARVALHO, L. C. C. Cana-de-açúcar, um mundo de oportunidades. **Atualidades Agrícolas**, São Paulo, v. 2, n. 1, abr. p. 4-9, 2004.

CASAGRANDE, A.A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: **Funep**, 1991. 157p.

CASTRO, P.R.C.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A. F. Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico. Maceió: **Insecta**, 2005, p. 3-48.

CHAVES, M.M; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551-560,2008.

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192p. Livro-Docência - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COSTA, C.T.S. Crescimento, pigmentos fotossintéticos e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), no quarto ciclo de cultivo. 2009. 51 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de **Ciências Agrárias**. Rio Largo, 2009.

DALRI, A. B. Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos. 2004. 89p. **Tese** (Doutorado) - UNESP, Botucatu, 2004.

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

DALRI, A. B.; DUENHAS, L. H.; GARCIA, C. J. B.; CRUZ, R. L. Subsurface Drip Irrigation on Sugarcane Yield and Quality. **Irriga**, v. 13, n.1, p. 1-11, 2008.

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

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

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

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

DEVOS, K. M. Grass genome organization and evolution. *Curr Opin Plant Biol.* 2010, vol. 13, pp. 139-145.

DEVOS, K. M. Grass genome organization and evolution. **Current Opinion Plant Biology**, v. 13, pp. 139-145, 2010.

DIAS, C. M. O.; CORSATO, C. E.; SANTOS, V. M.; SANTOS, A. F. S. Indicadores fitotécnicos, de produção e agroindustriais em cana de açúcar cultivada sob dois regimes hídricos. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 58-65, jul-set., 2012.

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

DOOREMBOS, J. & KASSAM, A. H.. **Efeito da água no rendimento das culturas, Estudos FAO Irrigação e Drenagem** . Série n.33 , p. 42-53. 1979.

DUARTE, A. M. A. Crescimento e maturação da cana-de-açúcar, sob condições de cultivo irrigado, em Janaúba – MG. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, 2009, 57 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ENCISO, J.; JIFON, J. A.; WIEDENFELD, B. Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. In: **Texas: A&M University Agricultural Research and Extension Center Weslaco Texas**, United States, Jul. 2007.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas**. Londrina: [s.n.], 2006. 402p.

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

FARIAS, C. H. A.; DANTAS NETO, J; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na paraíba, **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.

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

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

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

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. . Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p. 29-41, 2011.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. . Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p. 29-41, 2011.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: reflexos do plantio à colheita. In: CRUSCIOL, C. A. C. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. 111 p.

FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; FERREIRA, C. S.; ANDRADE, R. R. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharumofficinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conex. Ci. e Tecnol.**, v. 6, n. 1, p. 27-43, 2012.

FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; FERREIRA, C. S.; ANDRADE, R. R. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum* l.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conex. Ci. e Tecnol.** Fortaleza/CE, v. 6, n. 1, p. 27-43, mar. 2012.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. **Stab – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.15, p.24-27, 1997.

GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-

açúcar (*Saccharum sp.*). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66. 2010.

GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R.A.M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). In: Carlos Alexandre Costa Crusciol. (Org.). **Tópicos em Ecofisiologia da Cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 2010, v. 1, p. 49-66.

GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

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

GILBERT, R. A.; SHINE JÚNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.

GILBERT, R.A.; SHINE JUNIOR, J.M.; MILLER, J.D.; RICE, R.W.; RAINBOLT, C.R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida,USA. **Field Crops Research**, v.95, p.156-170, 2006.

CASAGRANDE, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: **Funep**, 1991. 157p.

GOUVÊA, J. R. F. Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP. 2008. 98 p. **Dissertação** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

HERNANDEZ, M. G. R. Proteção de gotejadores a obstrução por intrusão radicular em irrigação subsuperficial de figueiras. 2010. 135 f. **Tese** (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M.L.; JINGSHENG X. Source–sink differences in genotypes and water regimes influencing sucrose accumulation in sugarcane stalks. **Crop and Pasture Science**, v.60, n.4, p.316-327, 2009.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185–202, 2005.

JALOTA, S. K.; SOOD, A. G. B. S.; CHAHAL, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, v.84, p.137-146, 2006.

KÖLLN, O. T. Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ^{13}C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar. 2012. 102 p. **Dissertação** (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KAJIHARA, D. et al. Functional characterization of sugarcane mustang domesticated transposases and comparative diversity in sugarcane, rice, maize and sorghum. **Genet. Mol. Biol.**, v. 35, n. 3, 2012.

KAJIHARA, D. et al. Functional characterization of sugarcane mustang domesticated transposases and comparative diversity in sugarcane, rice, maize and sorghum. *Genet. Mol. Biol.*, São Paulo, v. 35, n. 3, 2012.

KOHLHEPP, G.; Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos Avançados*. n°24. v. 68. São Paulo, 2010.

KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ^{13}C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 104 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; CARDOSO, K. Aplicação do silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p.8-11.

KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; CARDOSO, K. Aplicação do silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p.8-11.

LAMM, F. R.; CAMP, C. C. Subsurface drip irrigation. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. Microirrigation for crop production: **Design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2007. 618p.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: **RiMa**, 2000. 531 p.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar após aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 129-138, jan./mar. 2011.

LELIS NETO, J. A. Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônico e atributos físicos e químicos de um Nitossolo. 138p. 2012. **Tese** (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

LEVIEN, S. L. A.; MIRANDA, J. H.; BEZERRA, A. H. F. **Estimativa de dimensões de volume de solo molhado na irrigação por gotejamento superficial em solo de textura média: condição inicial de solo seco**. In: IV WINOTEC (Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação), 2012, Fortaleza. Resumos do IV WINOTEC (Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação). Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada (INOVAGRI), 2012, v.4, CD-ROM.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELLO, J. M.; JUAN, J. A. DE; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v.98, p.190-198, 2010.

MACHADO, R. S. et al. Fotossíntese e conteúdo foliar de carboidratos em cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ECO FISILOGIA, MATURAÇÃO E MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR, 2008, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, 2008. p. 1-5.

MALAVOLTA, E.; VTITI, G. C. OLIVEIRA, S. C. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, Potafos, 317p. 1997.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da SDI. **Colloquium Agrarian**, v.2, p.17-31, 2006.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JUNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, v.58, p.295-301, 2001.

MOURA, M.V.P. da S.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, C.A.V. de; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M. de; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de -açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotécnica**, v.29, p.753 -760, 2005.

NG KEE KWONG, K. F.; PAUL, J. P.; DEVILLE, J. Drip-fertigation - a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, v. 35, n. 1, p. 31-37, 1999.

NOGUEIRA, R. C.; PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M.; GAVILANES, M. L. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionada a adubação nitrogenada**. 2011. 213 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. de; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T. da; CARVALHO, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; NETO, D. E. S.; ROCHA, A. CARVALHO, T.; L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.46, n.6, p.617-625, jun. 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P; R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em

variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 951–960, 2010.

OLIVEIRA, E. L. de; ANDRADE, L. A. de B.; FARIA, M. A. de; EVANGELISTA, A. W. P.; MORAIS, A. R. de. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.11, p.1398-1403, 2009.

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

OLIVEIRA, E.C.A; GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **J Plant Nutr Soil Sci**, v. 0, p. 1–12, 2013.

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

OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17p.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência da adubação N P K nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.96, n.3, p.37-44, 1980.

PARK, S. E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N. G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research** , Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.

PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, v.29, p.331-339, 2010.

PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; EHOLPANKULOV, E. D.; INCHENKOVA, O. P.; TEODORO, P. R.; HORST, M. G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. **Agricultural Water Management**, v. 96, p.723-735, 2009.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. O setor sucroalcooleiro no Brasil. In: RIPOLI, T.

- C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Os autores, 2007. p. 1-15
- ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.
- RENOUF M. A.; WEGENER M. K.; NIELSEN L. K. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 32, p. 1144–1155, 2008.
- ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.
- ROBSON M. **Relações hídricas na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar submetida a déficit hídrico variável**. Piracicaba, Dissertação - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq), 2012.
- ROSSETO, R.; KORNDÖRFER, G. H.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O. et al. **Tecnologia na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. p. 125-140.
- SANTOS, M. J. DOS; ARAÚJO, L. E.; OLIVEIRA, E. M.; SILVA, B. B. Seca, precipitação e captação de água de chuva no semiárido de Sergipe. **Engenharia Ambiental**, v.6, p.55-73, 2009.
- SEGATO, S.V. et al. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p.19-36.
- SILVA, J. G. F.; COELHO, E. F. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. de F. S. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória-ES: Incaper, p. 163-198. 2003.
- SILVA, M. A.; GAVA, G. J. C.; CAPUTO, M. M.; PINCELLI, R. P.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, v.66, p. 545-552, 2007.
- SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 656-661, 2008.

- SILVA, M. de A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.51, p. 457-466, 2004.
- SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 500-509, jul-set, 2012
- SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M. & ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree Physiol.**, 25:1469-1472, 2004.
- SINGH, P. N.; MOHAN, S. C. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical region. **Agricultural Water Management**, v. 26, n.4, p. 253-264, 1994.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v. 90, p. 95–100, 2007.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95 - 100, 2007.
- SMEETS, E. M. W.; BOUWMANW, L. F.; STEHFEST, E. VAN VUUREN, D. P.; POSTHUMA, A. Contribution of N₂ O to the greenhouse gas balance of first generation biofuels. **Global Change Biology**, Oxford, v. 15, p. 1–23, 2009.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOARES, R. A. B.; CARDOSO, H. R. Irrigação de salvamento em cana-de-açúcar In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. S. **Expansão e renovação de canavial. Piracicaba**: CP 2, 2007. p. 281-293
- SOARES, R. A. B.; OLIVEIRA, P. F. M.; CARDOSO, H. R.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. H.; ROSENFELD, V. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhida em início de safra. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.22, p.38-41, 2004.

SOUZA, C.F; FOLEGATTI, M.V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, v. 27, p. 277–288, 2009.

TAKEI, K.; TAKAHASHI, T.; SUGIYAMA, T.; YAMAYA, T.; SAKAKIBARA, H. Multiple routes communicating nitrogen availability from roots to shoots: a signal transduction pathway mediated by cytokinin. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.971-977, 2002

TEIXEIRA, M. B.; MELO, R. F. de; COELHO, R. D.; RETTORE NETO, O.; RIBEIRO, P. A. de A. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 235-248, 2008.

VITTI, A. C. et al. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 239-270.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south texas. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 665-671, 2008.

WIEDENFELD, R.P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, v.43, p.173 -182, 2000.

WIEDENFELD. B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 665-671. 2008.