

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

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA VIA
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

Autor: Nelmício Furtado da Silva
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
Agosto – 2014

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

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA VIA
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

Autor: Nelmício Furtado da Silva
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

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

Rio Verde - GO
Agosto – 2014

622.66S Silva, Nelmício Furtado
586c Cultivo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial/ Nelmício Furtado da Silva. - 2014.
85f.: grafs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira.

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

Bibliografia: f. 78 - 86.

1. *Saccharum officinarum* L., déficit hídrico, crescimento, produtividade, ciclos de cultivo, Latossolo. – Dissertação (Mestrado). I. Teixeira, Marconi Batista. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde.

**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-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA VIA GOTEJAMENTO
SUBSUPERFICIAL**

Autor: Nelmício Furtado da Silva
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

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

APROVADA em 22 de agosto de 2014.

Prof. Dr. Edson Cabral da
Silva
Avaliador externo
CENA-USP/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

DEDICO

A Deus,

Pela vida, saúde e força nos momentos de dificuldades.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus queridos pais, Telmício e Lucimar, por todo amor, e confiança que depositaram em mim, e por apesar dos sacrifícios não desistiram de apoiar à minha educação. A minha irmã, Lucivaine e minha sobrinha Kawany, e em especial, ofereço para a minha noiva Lígia, por estar ao meu lado sempre que precisei desde o início desta caminhada, por todo carinho, atenção e compreensão.

*"Perseverança é a qualidade que mantém o homem em pé enfrentando o vento.
É a virtude que pode transmutar a provação mais severa em glória porque,
além da dor, vê o alvo."*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos, de maneira especial, aos amigos parceiros e colegas de curso Fernando Nobre Cunha, Fabiano José de Campos Bastos e Luciana Minervina de Freitas Moura, e aos colegas de laboratório Renato Campos de Oliveira, José Joaquim de Carvalho, Vitor Marques Vidal, Claudio Carvalho, Camylla Vieira, Fernando Cabral e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

Aos colegas de república Valdevino Rodrigues da Silva e Fernando Cesar Souza, pela companhia e paciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria e etc.), principalmente em nome do Professor Dr. Osvaldo Resende e Alan Carlos Costa. À Vanilda Maria Campos, pela paciência e apoio desde a matrícula a defesa da dissertação, ao IFGoiano – *Campus* Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira e Frederico Antônio Loureiro Soares, por todo o apoio e orientação e ensinamentos ao longo da execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada.

Aos funcionários de todos Departamento da Instituição, pela atenção e colaboração nos momentos em que necessitei de auxílio para continuar nesta caminhada.

Aos Professores Anísio Corrêa da Rocha, Edson Souchie e Carlos Rodrigues, pelos gestos de incentivo e amizade.

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) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa de estudo, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

À Usina São Francisco (Grupo SJC – Bioenergia) localizada em Quirinópolis - GO, pela colaboração na realização das análises tecnológicas da cana-de-açúcar.

BIOGRAFIA DO AUTOR

NELMÍCIO FURTADO DA SILVA, filho de Telmício Pereira Lacerda e Lucimar Furtado da Silva, nasceu no dia 24 de maio de 1988, na cidade de Rio Verde, Goiás.

No mês de fevereiro de 2008, iniciou no curso de Técnico em Agropecuária no Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, finalizando em dezembro de 2009.

Em agosto de 2008, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, graduando-se em maio de 2013.

Em 2010, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) na área de Irrigação e Drenagem, como bolsista (PIBIC/CNPq), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, até a conclusão da graduação em 2013.

Em agosto de 2013, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – *Campus* de Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em agosto de 2014.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	Xii
RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
1.0 INTRODUÇÃO.....	18
2.0 OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	22
3.1 A cultura da Cana-de-açúcar.....	22
3.2 Condições Edafoclimáticas de Cultivo da Cana-de-açúcar.....	24
3.3 O Consumo de Água na Cana-de-açúcar	25
3.4 A Deficiência Hídrica na Cana-de-açúcar	28
3.5 Irrigação na Cultura da Cana-de-açúcar.....	29
3.6 Gotejamento Subsuperficial.....	31
3.7 Fertirrigação com Nitrogênio Via Gotejamento Subsuperficial.....	32
3.8 Crescimento da Cana-de-açúcar.....	34
3.9 Produtividade e Qualidade da Cana-de-açúcar.....	36
4.0 MATERIAL E METODOS.....	36
4.1 Caracterização e Localização da Área Experimental	37
4.2 Caracterização do Solo.....	38
4.3 Preparo do Solo.....	39
4.4 Adubação.....	40
4.5 Curva Característica de Retenção de Água no Solo.....	41
4.6 Implantação do Experimento.....	41
4.7 Delineamento Experimental.....	42
4.8 Sistema de Irrigação.....	44
4.9 Manejo das Lâminas de Irrigação	45
4.10 Sistema de Fertirrigação.....	45
4.11 Determinações de Variáveis Morfológicas.....	47
4.12 Determinação da Qualidade Industrial.....	48
4.13 Produtividade.....	48
4.14 Análise Estatística.....	48
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1 Altura de Planta (AP).....	49
5.2 Diâmetro de Colmos (DC).....	52
5.3 Número de Folhas (NF).....	56
5.4 Área Foliar (AF)	59
5.5 Número de Entrenós (NE).....	62
5.6 Número de Perfilhos (NPE).....	66
5.7 Número de Plantas (NPA).....	69
5.8 Produtividade de Colmos (PC) e Aç Total Recuperável (ATR).....	71
6.0 CONCLUSÕES.....	77
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

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.....	38
Tabela 2.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	49
Tabela 3.	Teste de médias para o fator C na fase I da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	50
Tabela 4.	Teste de media para o desdobramento do fator N x C na Fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	51
Tabela 5.	Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na Fase II de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	53
Tabela 6.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	53
Tabela 7.	Teste de médias para o fator C nas Fases II e III, e fator N na fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	54
Tabela 8.	Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na Fase I de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	56
Tabela 9.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	57
Tabela 10.	Teste de médias para o fator Ciclo Fase I, II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	57
Tabela 11.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	60
Tabela 12.	Resumo da análise de desdobramento do fator N x C na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	60
Tabela 13.	Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na Fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	62
Tabela 14.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	63
Tabela 15.	Teste de médias para o fator C nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	63
Tabela 16.	Resumo da análise do desdobramento de N dentro de cada nível de RH C na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	64

Tabela 17.	Resumo da análise do desdobramento de Ciclo dentro de cada nível de RH N na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	65
Tabela 18.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	67
Tabela 19.	Teste de médias para o fator C nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	67
Tabela 20.	Teste de média para o desdobramento do fator C x RH na Fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	69
Tabela 21.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	69
Tabela 22.	Teste de média para o desdobramento do fator Ciclo x RH na Fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	71
Tabela 23.	Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	71
Tabela 24.	Teste de média para o desdobramento do fator C x RH para PC na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013....	75
Tabela 25.	Teste de média para o desdobramento do fator C x RH para ATR na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Balanço hídrico decendial do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (Cana-planta safra 2011/12).....	36
Figura 2.	Balanço hídrico decendial do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (Cana-soca safra 2012/13).....	37
Figura 3.	Calagem e preparo do solo da área experimental	39
Figura 4.	Preparo dos sulcos para plantio em fila dupla na área experimental.....	
Figura 5.	Adubação das parcelas experimentais.....	39
Figura 6.	Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.....	40
Figura 7.	Foto do experimento implantado no campo.....	41
Figura 8.	Fotos do conjunto motobomba e do cabeçal de controle do sistema de irrigação.....	41
Figura 9.	Foto do dispositivo para monitoramento de vazão nos tubos gotejadores.....	42
Figura 10.	Foto do sistema de injeção dos fertilizantes diluídos na água contida no reservatório.....	43
Figura 11.	Foto da área útil e das três plantas demarcadas no centro de cada parcela experimental.....	45
Figura 12.	Altura de planta em função da Reposição Hídrica na fase I da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	47
Figura 13.	Altura de planta em função da Reposição Hídrica na fase II da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	51
Figura 14.	Diâmetro de colmos em função da Reposição Hídrica nas fases II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	52
Figura 15.	Diâmetro de colmos em função da Reposição Hídrica na fase I da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	55
Figura 16.	Número de Folhas em função da Reposição Hídrica nas fases II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013..	55
Figura 17.	Área Foliar em função da Reposição Hídrica nas fases I, II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	58
Figura 18.	Número de entrenós em função da Reposição Hídrica na fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	61
Figura 19.	Número de entrenós em função da Reposição Hídrica na fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	64
Figura 20.	Número de perfilhos em função da Reposição Hídrica na fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	65

Figura 21.	Número de plantas em função da Reposição Hídrica na fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	68
Figura 22.	Produtividade de Colmos em função da Reposição Hídrica x N na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	70
Figura 23.	Produtividade de Colmos em função da Reposição Hídrica x Ciclo na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013..	72
Figura 24.	Açúcares Totais Recuperáveis em função da Reposição Hídrica x Ciclo na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

AF	Área foliar (cm ²)
Al	Alumínio (mmol dm ⁻³)
AP	Altura de planta (cm)
ATR	Açúcares totais recuperáveis (Kg ton ⁻¹)
C	Ciclo
Ca	Cálcio (mmol dm ⁻³)
CC	Capacidade de campo
cm	Centímetros
ComN	Com nitrogênio
CTC	Capacidade de troca catiônica
CV	Coefficiente de variação (%)
DAP	Dias após o plantio
DAT	Dias após os tratamentos
DC	Diâmetro de colmos (mm)
Dp	Densidade de partículas
Ds	Densidade do solo
ETc	Evapotranspiração de cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
ETr	Evapotranspiração real da cultura
EUA	Eficiência no uso da água
FV	Fonte de variação
GL	Grau de liberdade
ha	Hectare
IAF	Índice de área foliar
IGS	Irrigação por gotejamento subsuperficial
K	Potássio (mmol dm ⁻³)
Kc	Coefficiente de cultivo
Kg	Kilogramas
LVdf	Latosolo Vermelho distroférrico
CO ₂	Dióxido de Carbono
m	Metro
Macro	Macroporosidade
Mg	Magnésio (mmol dm ⁻³)
Micro	Microporosidade
mm	Milímetros
MO	Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)
N	Nitrogênio
NE	Número de entrenós
NF	Número de folhas
NPA	Número de plantas
NPE	Número de perfilhos
P	Fosforo (mg dm ⁻³)
PC	Produtividade de colmos (Ton ha ⁻¹)
PMP	Ponto de murcha permanente
PT	Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)
QM	Quadrados médios
RH	Reposição hídrica (%)

S.....	Enxofre (mmol dm^{-3})
SemN.....	Sem nitrogênio
Ton.....	Tonelada
V.....	Saturação por bases (%)
θ_{CC}	Conteúdo de água no solo na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_{PMP}	Conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Ψ_m	Tensão de água no solo

RESUMO

SILVA, N. F. **Cultivo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial**. 2014. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, Brasil.

O déficit hídrico pode ter maior ou menor impacto na produtividade da cana-de-açúcar, conforme a fase fenológica de crescimento e desenvolvimento, porém a irrigação e a adubação nitrogenada têm o potencial de mitigar estes efeitos, refletindo em aumento de produtividade e melhoria da qualidade da matéria-prima. Objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento da cana-de-açúcar em condições de campo, submetida a diferentes lâminas de irrigação e aplicação parcelada de N via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em condições de cana-planta e soca. O experimento foi implantado em condições de campo, em março de 2011, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, em solo Latossolo Vermelho distroférico, com o cultivo da variedade RB 85-5453. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco lâminas de irrigação (100, 75, 50, 25 e 0% de reposição hídrica); (100 kg ha⁻¹ de N) e ausência de N em dois ciclos de cultivo (Cana-planta e cana-soca). A reposição hídrica apresentou maior efeito para altura de planta, número de plantas e ATR, em condições de cana-soca, e para diâmetro de colmos, área foliar e produtividade de colmos em cana-planta, quando dependente do ciclo, assim como para altura de planta, diâmetro de colmos, número de folhas e número de entrenós em condições de cana-planta e número de perfilhos em cana-soca, quando não dependente do ciclo. O nitrogênio apresentou maior efeito para altura de planta, diâmetro de colmos, número de folhas e produtividade de colmos, em condições de cana-planta, quando dependente do ciclo.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L., déficit hídrico, crescimento, produtividade, ciclos de cultivo, Latossolo.

ABSTRACT

SILVA, N. F. **Cultivation of sugarcane under different irrigation and nitrogen fertigation by subsurface drip.** 2014. 86p. Dissertation (Master in Agricultural Sciences – Agronomy). Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brazil.

The water deficit can have greater or lesser impact on the productivity of cane sugar, as the phenological stage of growth and development, but irrigation and nitrogen fertilization have the potential to mitigate these effects, reflecting in increased productivity and improved the quality of the raw matter. The objective of this study was to evaluate the behavior of cane sugar under field conditions, subjected to different irrigation and split application of N by subsurface drip irrigation system under conditions of plant and ratoon cane. The experiment was carried out under field conditions, in March 2011, at the experimental station of the Federal Institute Goiano - Campus Rio Verde - GO in an Oxisol, with the cultivation of the variety RB 85-5453. The experimental design was a randomized block analyzed in factorial 5 x 2 x 2 design with four replications. The treatments were five irrigation (100, 75, 50, 25 and 0% water replacement); (100 kg N ha⁻¹) and absence of N in two cropping cycles (plant cane and ratoon). Fluid replacement had the highest effect for plant height, number of plants and ATR, in conditions of ratoon, and stalk diameter, leaf area and stem productivity in plant cane, when dependent on the cycle, as well as for height plant, stalk diameter, number of leaves and number of internodes able to plant cane and number of tillers in ratoon, when not dependent on the cycle. Nitrogen had the highest effect for plant height, stalk diameter, number of leaves and stem productivity in conditions of plant cane, when dependent on the cycle.

Keywords: *Saccharum officinarum* L .water deficit, growth, productivity, crop cycles, Oxisol.

1.0 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é cultivada no Brasil desde o século XVI e se expandiu- no país, sendo utilizada na produção de açúcar e álcool (etanol) para o consumo interno e exportação, gerando divisas para o país, e adquiriu grande importância econômica, pela grande demanda por bioenergia, produção de combustível limpo e renovável, em substituição aos combustíveis derivados do petróleo. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e de seus derivados, açúcar e álcool. A cana-de-açúcar é atualmente uma cultura de crescente importância econômica, considerada uma das principais commodities agrícolas em termos de produtividade (DEVOS, 2010).

A grande demanda por bioenergia fez com que a cana-de-açúcar ocupe o posto de uma das principais culturas do Brasil. O setor canavieiro passa atualmente por um período de crescimento. Estimulado, pela demanda de álcool, tanto no mercado interno, em função do sucesso dos veículos flex-fuel (consumo preferencial de álcool), além do interesse mundial crescente na utilização do etanol, combustível produzido a partir de biomassa (matéria-prima renovável) que vem sendo misturado à gasolina.

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2014/2015 será de aproximadamente 9.130,1 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 51,7% (4.696,3 mil hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 9,3% (878,27 mil hectares), Minas Gerais com 8,9% (788,88 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,4% (712,39 mil hectares), Paraná com 6,7% (644,65 mil hectares), Alagoas com 4,7% (390,40 mil hectares) e Pernambuco com 3,2% (277,74 mil hectares). Estes sete estados são responsáveis por 91,9% da produção nacional. Os demais estados produtores possuem áreas menores, com representações abaixo de 3,0% (CONAB, 2014).

Em termos de produção mundial, a cana-de-açúcar é o principal cultivo para produção de açúcar do mundo vegetal. A produção atual se situa em torno de 1.450 milhões de toneladas de cana, que ocupa cerca de 22 milhões de hectares em todo o mundo. O Brasil e a Índia são os países mais importantes do mundo no segmento de produção de cana-de-açúcar, que juntos representam quase 60% da produção mundial.

A produtividade do etanol da cana-de-açúcar por hectare no Brasil (6.800 litros ha⁻¹) corresponde a 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 produz o bagaço, que é resultado do acúmulo de fitomassa, considerado como resíduo

industrial e que pode ser utilizado para a produção de energia elétrica através do processo de cogeração de energia (OLIVEIRA et al., 2013; FREITAS et al., 2012).

Esta expansão do setor demonstra a busca cada vez maior do mercado mundial, bem como do esforço governamental, por fontes de energia renovável, que aliadas a questões ambientais e de políticas de matriz energética limpa, colocam o setor sucroenergético numa perspectiva promissora.

A expansão do mercado mundial de açúcar e de álcool tem estimulado o aumento do investimento no setor em todo o país (FRASSON, 2007). Para que haja produção de etanol que supra as necessidades internas do país, e ainda, possa exportar esse combustível, tem-se a necessidade de grandes áreas plantadas com a cana-de-açúcar. Por esta razão, os produtores de cana-de-açúcar e as agroindústrias do setor sucroalcooleiro têm investido bastante em tecnologias para aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade industrial da matéria-prima (DANTAS NETO et al., 2006), e dentre as práticas a serem adotadas para que isso ocorra, pode-se citar a irrigação e a adubação (LELIS NETO, 2012). 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.

Portanto, para que o crescimento do setor seja mantido em condições rentáveis, ele deverá ser apoiado não apenas na ampliação das áreas agrícolas, mas no aumento da produtividade. Deste modo, é de fundamental importância a aplicação de novas técnicas que visem à otimização do setor, no que diz respeito a evolução tecnológica, de forma a proporcionar contínua elevação dos índices de produtividade por área, uma vez que a cultura possui grande potencial produtivo.

Pesquisadores vêm estudando os benefícios da introdução da irrigação, com a obtenção altos índices de produtividade em vários ciclos da cultura, prorrogando a longevidade do canavial. Todavia, há grande variação nos resultados de pesquisa, sendo importante levar em consideração o clima regional, solo, adubação e manejo da irrigação utilizado.

O déficit hídrico pode ter maior ou menor efeito na fase fenológica de crescimento e desenvolvimento e na produtividade da cana-de-açúcar, porém, a irrigação tem o potencial de mitigar estes efeitos da deficiência hídrica na cana-de-açúcar,

aumentando a produtividade e melhorando a qualidade da matéria-prima. No entanto, a melhor lâmina de irrigação a ser utilizada, assim como o efeito do nitrogênio na cana-planta e soca são muito contraditórios. Além disso, não existem trabalhos voltados para as condições do estado de Goiás, principalmente, em se tratando de irrigação durante todo o ciclo de cultivo, utilizando tecnologia como o sistema de gotejamento subsuperficial com aplicação de N parcelada via água de irrigação.

Diante do exposto é possível formular as seguintes hipóteses: i) conforme a fase fenológica de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, o déficit hídrico e a aplicação parcelada de N não tem impacto na produtividade; ii) a aplicação parcelada de N por meio de gotejamento subsuperficial influencia no crescimento e desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar, reduzindo o estresse e a deficiência de N, principalmente em cana-soca; e iii) a reposição hídrica por meio de gotejamento subsuperficial influencia no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar, reduzindo o estresse hídrico, tanto em condições de cana-planta como soca.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento da cana-de-açúcar em condições de campo, submetida a diferentes lâminas de irrigação e aplicação parcelada de N via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em condições de cana-planta e soca.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento morfológico da cana-de-açúcar através da mensuração de variáveis como altura de planta, diâmetro de colmos, número de folhas, área foliar, número de entrenós, número de perfilhos e número de plantas, em resposta a diferentes lâminas de irrigação e aplicação parcelada de N via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em condições de cana-planta e soca;
- Avaliar os efeitos da restrição hídrica na produtividade de colmos e ATR da cultura de cana-de-açúcar, em resposta a diferentes lâminas de irrigação e aplicação parcelada de N via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em condições de cana-planta e soca;
- Avaliar os efeitos da restrição hídrica nas diferentes fases de cultivo da cultura de cana-de-açúcar, em resposta a diferentes lâminas de irrigação e aplicação parcelada de N via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em condições de cana-planta e soca.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea, citada como provável cultura originária da Ásia (CARDOSO, 2012), pertencente à família Poaceae. As principais características morfológicas deste gênero são: crescimento do caule em colmos, folhas que possuem lâminas de sílica nas suas bordas e bainhas abertas. O hábito de crescimento da cana-de-açúcar pode variar de ereto, semidecumbente a decumbente, de acordo com a característica da variedade. Esta cultura apresenta sistema fotossintético C4, que segundo Taiz & Zeiger (2004), em maiores temperaturas (30 a 40 °C), possuem alto desempenho do metabolismo de fotossíntese. Por ser uma espécie de grande eficiência fotossintética, tem seu ponto de saturação luminosa elevado. Assim, quanto maior for a intensidade luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cultura, o crescimento e o desenvolvimento da cultura serão mais eficientes e haverá mais acúmulo de açúcares (GOUVÊA, 2008).

No centro-sul do Brasil, efetua-se o plantio em duas épocas distintas: (a) Primeira época, quando se planta de setembro a novembro, em que a cana apresenta ciclo de 12 meses de duração, denominada popularmente “cana-de-ano”; (b) Segunda época, quando o plantio é realizado de janeiro a início de abril, o ciclo da cana é variável de 14 a 21 meses, recebendo a denominação de cana-de-ano e meio. (SEGATO et al., 2006).

De acordo com Diola & Santos (2012), os estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar se dividem em quatro fases, a saber:

- (a) Brotação e estabelecimento da cultura: tem a duração aproximada de um mês após o plantio. É uma fase caracterizada por intensa atividade respiratória, sendo influenciada pela temperatura, umidade e pela aeração do solo, entre outros fatores;
- (b) Perfilhamento: estende-se desde o final da brotação até 120 dias após o plantio. Neste estágio ocorre a contínua ramificação subterrânea das juntas nodais do broto primário. A luz é o principal fator que influencia o perfilhamento, ativando as gemas vegetativas basais. Outros fatores como água, temperatura, espaçamento, aplicação de fertilizantes, etc., também influenciam o perfilhamento;
- (c) Desenvolvimento vegetativo e crescimento dos colmos: inicia-se logo após a fase de perfilhamento até 270 dias após o plantio. É a fase mais longa do ciclo da cultura e é quando ocorre o alongamento e espessamento do colmo, que cresce a taxas de 4 a 5

entrenós por mês em condições adequadas. Temperatura e umidade elevadas favorecem o alongamento dos colmos;

- (d) Maturação: fase de síntese e acúmulo de açúcar, que dura de 270-300 até 360 dias após o plantio. O crescimento vegetativo é reduzido e a maturação ocorre de baixo para cima, ou seja, os entrenós basais possuem mais açúcar que aqueles situados no ápice da planta, cujo conteúdo tende a se igualar quando da completa maturação da cana. Alta intensidade luminosa, maior amplitude térmica diária e clima seco, com suprimento de água limitado, favorecem o amadurecimento dos colmos.

O ciclo evolutivo da cultura pode ser de 12 meses (cana de ano) e 18 meses (cana de ano e meio) em cana-planta. Após o primeiro corte, o ciclo passa a ser de 12 meses, e a partir do primeiro corte passa a ser denominada de cana-soca (BARBOSA, 2010). Porém, existem diversas variedades de ciclo precoce, que permitem maior flexibilidade no planejamento do plantio e da colheita.

3.2 Condições Edafoclimáticas de Cultivo da Cana-de-açúcar

A precipitação pluvial, nas regiões brasileiras que produzem cana-de-açúcar, é muito variável e má distribuída, sendo 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, por causa das variações locais de clima e de variedades, é difícil estabelecer a relação entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar.

Em Goiás, o regime pluviométrico é caracterizado pela irregularidade na distribuição das chuvas, com verão chuvoso (outubro a abril) e inverno seco (maio a setembro), a necessidade, portanto, da irrigação suplementar da cana-de-açúcar em Goiás é evidente e imprescindível.

A cana-de-açúcar é uma planta semitropical perene, sofrendo, portanto, as influências do clima em todo o curso do ano, ao contrário das culturas anuais que sofrem influências em períodos limitados. Os parâmetros climáticos mais atuantes na produtividade de cana-de-açúcar na região centro-sul são: Temperatura média anual; Deficiência hídrica anual; Evapotranspiração anual (CINTRA et al., 2008). Para Gouvêa (2008), a cana-de-açúcar é uma planta que se adapta bem a ampla variação de condições

climáticas. Seu potencial produtivo, porém, também é afetado por outros fatores além dos climáticos, como os fatores da planta, especialmente suas variedades, e os fatores do solo.

A combinação da irrigação com variedades edafoclimaticamente adaptadas proporciona incrementos na qualidade do caldo e na produção de colmos e de açúcar (CARVALHO et al., 2009). Entretanto, grande parte dos canaviais irrigados tem sido conduzida em áreas inadequadas, de baixa fertilidade, com uso de variedades não responsivas à irrigação, limitando o crescimento vertical da cultura e eleva o custo dessa tecnologia (OLIVEIRA et al., 2011).

A disponibilidade de água para a cana-de-açúcar é o principal fator climático causador de variabilidade da produtividade. Entretanto, em virtude das variações locais de clima e de variedades, é difícil estabelecer a relação entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar (GOUVÊA, 2008). Vale destacar que este desempenho é afetado por outros fatores do clima, pelos parâmetros físico-químicos dos solos, manejo e práticas culturais e, de maneira fundamental, pela disponibilidade de água no solo (MASCHIO, 2011).

Cintra et al. (2008) citam que a cultura da cana-de-açúcar, para ser explorada economicamente com o objetivo de produção de sacarose, necessita no mínimo de calor durante o ciclo vegetativo. Essa disponibilidade térmica, em termos de evapotranspiração potencial, que corresponde a cerca de 850 mm anuais, que é considerado limite mínimo para as exigências térmicas anuais de cultura, que corresponde, aproximadamente, à isoterma de 19°C. A temperatura média diária de 21°C, verifica-se a elevada taxa de crescimento, enquanto temperaturas abaixo de determinados limites reduzem, substancialmente, o crescimento da cana, e se tornando insignificante para temperaturas médias diárias inferiores a 15,5°C. Em zonas sujeitas ao fenômeno da geada, devem ser evitados os terrenos baixos, de difícil circulação de ar.

3.3 O Consumo de Água na Cana-de-açúcar

A razão entre a evapotranspiração de cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) é denominada coeficiente de cultivo (K_c), utilizado para o processamento do balanço hídrico da cultura e para as estimativas das produtividades potencial e real com o método da Zona Agroecológica. Como a área foliar da cultura padrão é constante e a da cultura real varia, o valor do coeficiente de cultivo (K_c) também irá variar. A evapotranspiração real da cultura (ET_r) é a evapotranspiração nas mesmas

condições de contorno da evapotranspiração de cultura (ET_c), porém com ou sem restrição hídrica. Portanto, a evapotranspiração real da cultura foi sempre menor ou igual à evapotranspiração de cultura (GOUVÊA, 2008). O autor cita ainda que por meio do balanço hídrico, é possível quantificar as entradas de água em sistema dadas pela precipitação, irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar; e as saídas, dadas pela evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda. Essa estimativa permite identificar períodos de deficiência hídrica e a época de sua ocorrência.

Para Bernardo (2007), 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. Nos primeiros meses, a quantidade de água necessária à cultura é relativamente pequena, porém, quando a planta se encontra em pleno estágio de desenvolvimento vegetativo, são exigidas grandes quantidades de água. Desta forma, a cana-de-açúcar necessita de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca durante todo o período de crescimento (LARCHER, 2004). A exigência de água pela cultura varia em função do ciclo da cultura (cana-planta, soca ou ressoça), do estágio de desenvolvimento da cultura (ciclo fenológico), das condições climáticas e de outros fatores, como água disponível do solo e variedades utilizadas e, de acordo com alguns estudiosos do assunto como Doorembos & Kassam (1979) o consumo anual de água pela cultura fica em torno de 1500 a 2500 mm, sendo, porém, muito difícil estabelecer a relação geral entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, por causa das variações de localização, clima, variedades e solo.

Gouveia Neto (2012), ressalta outra variável de se estudar em pesquisas envolvendo irrigação das culturas, é a eficiência no uso da água (EUA), que, de acordo com Inman-Bamber & Smith (2005), para a cultura da cana-de-açúcar a EUA é definida como sendo a razão entre a produtividade da cultura, em kg ha⁻¹ ou t ha⁻¹, pela quantidade total de água utilizada pela cultura, em m³ ou mm.

3.4 A deficiência Hídrica na Cana-de-açúcar

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

têm sido realizados para melhorar a produtividade de cultivos agrícolas sob condições de seca (CATIVELLI et al., 2008).

O termo estresse hídrico geralmente é definido como fator externo, que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta, este conceito está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. Logo, deficiência hídrica pode ser definida como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação. A deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que causa maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, acarretando reduções na produtividade (PIMENTEL, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004).

O déficit hídrico na planta ocorre, na maioria das vezes, quando a taxa de transpiração é superior a de absorção de água, que é comum durante o ciclo de diversas culturas agrícolas, inclusive em cana-de-açúcar. 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).

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 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, em que 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). Chaves et al. (2008) citam que a deficiência hídrica afeta vários aspectos do metabolismo da cana-de-açúcar, em especial a fotossíntese.

Existe uma variabilidade muito grande no grau de tolerância à falta d'água entre espécies. Esta diferença é observada por meio do valor do potencial de água ideal para as plantas, e ocorre mesmo dentro de uma espécie, entre variedades. Além disto, o estágio

de desenvolvimento da planta em que ocorre o estresse também é crítico para a produtividade agrícola (PIMENTEL, 2004; INMAM-BAMBER & SMITH, 2005).

Assim, um conhecimento adequado de como os vegetais respondem a tal estresse abiótico e 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.

As plantas são frequentemente submetidas a condições externas adversas, o resultando em estresses, que afetam de maneira desfavorável seu crescimento, desenvolvimento e/ou produtividade. Tais estresses podem ser bióticos (resultantes da ação de microrganismos) e abióticos (resultantes do excesso ou déficit de algum fator físico ou químico do meio ambiente) e podem ocorrer de forma isolada ou concomitante (GONCALVES, 2008).

Taiz & Zeiger (2009) definem que o estresse é um fator externo que exerce influência deletéria sobre a planta, em condições naturais e agricultáveis. Os mecanismos de resistência à seca variam com o clima e as condições de solo. A inibição da expansão foliar é uma das primeiras respostas ao estresse hídrico, que ocorre quando decréscimos na turgidez, resultantes do déficit hídrico, reduzem ou eliminam a força motora da expansão celular e foliar. Os mecanismos adicionais de resistência ao estresse hídrico incluem a abscisão foliar, expansão das raízes para zonas mais profundas e úmidas no solo e o fechamento estomático. Estas modificações morfofisiológicas provocam impacto negativo sobre o seu crescimento e desenvolvimento, e conseqüentemente uma menor produção.

Inman-Bamber (2004) ressalta que o tempo de exposição a seca afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar e da planta como um todo, podendo, ainda, levar a redução na interceptação da radiação, na eficiência do uso de água e na fotossíntese, bem como ao aumento da radiação transmitida para a superfície do solo. Nesses casos, a irrigação pode ser fundamental e economicamente viável, principalmente por meio do uso de métodos mais eficientes.

3.5 Irrigação na Cultura da Cana-de-açúcar

As técnicas de irrigação trazem diversos benefícios para a cultura da cana-de-açúcar, garantindo condições ideais de umidade no solo e proporciona maior absorção de água e nutrientes, e se traduz em maior produtividade (ARANTES, 2012). A tecnologia de irrigação vem sendo introduzida em algumas áreas como alternativa na melhoria da qualidade total do processo de produção do setor sucroenergético. A melhoria da qualidade da cana-de-açúcar pode ser obtida com o uso da irrigação (GOUVEIA NETO, 2012). Neste contexto, a irrigação na cultura tem surgido como inovação tecnológica no setor e têm apresentado resultados promissores. O fornecimento adequado de água durante o ciclo contribui para que a planta alcance seu máximo de produtividade.

A irrigação, além de aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, promove melhorias nos índices de qualidade da matéria-prima (FARIAS et al., 2009). A irrigação plena em cana-de-açúcar ainda é pouco difundida, porém seus benefícios para a cultura são vários. No entanto, a aplicação de água nas culturas deve ser manejada de forma racional, considerando os aspectos sociais e ecológicos da região, procurando maximizar a produtividade e a eficiência de uso de água e minimizar os custos, quer de mão de obra, quer de capital, de forma a tornar lucrativa a atividade. Deve-se fazer irrigação com o objetivo de aumentar o lucro e a produtividade, em quantidade e em qualidade (BERNARDO, 2007).

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta certa tolerância ao estresse hídrico, porém, 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.

Para aumentar a eficiência da irrigação no cultivo de cana-de-açúcar, Bernardo (2007) afirma ser de extrema importância considerar, na fenologia, os estádios de desenvolvimento da cultura, assim divididos: a germinação e a emergência compreendem o 1º mês; o perfilhamento e o estabelecimento da cultura que têm duração de 2 a 3 meses; o crescimento em biomassa (formação da produção) se estende entre 6 a 7 meses, enquanto a maturação abrange apenas 2 meses. Os dois primeiros estádios são os mais

críticos ao déficit hídrico. No terceiro estágio (aumento de biomassa), as plantas respondem a lâmina aplicada, mas o déficit hídrico não causa tantos prejuízos à produtividade quanto nos dois primeiros; no quarto estágio (maturação) é desejável ocorrer déficit hídrico, com reflexos positivos sobre o rendimento de açúcar.

No entanto, muitos produtores partem para a irrigação sem um planejamento adequado, sem considerar as necessidades hídricas, o manejo apropriado da água na cultura e sem conhecer as peculiaridades fisiológicas do crescimento da cana irrigada (DANTAS NETO et al., 2006). Por isso, a irrigação no Brasil está demandando necessariamente equipamentos que possam distribuir a água com mais eficiência, evitando desperdícios, e, estudos mais precisos sobre fatores fisiológicos, pedológicos e climáticos, que determinam a quantidade correta de água a ser utilizada (MARCUIZZO, 2008).

3.6 Gotejamento Subsuperficial

A avaliação minuciosa das diversas variáveis que determinam a escolha de um sistema de irrigação, assumindo a válida inexistência de um ideal, porquanto, cada sistema pode ser caracterizado pelas vantagens e limitações que apresenta em relação aos demais.

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, o que possibilita 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, e possibilita, também, aplicações em cobertura de forma racional e parcelada de acordo com a necessidade da cultura nos diferentes estádios de crescimento.

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.

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 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, com benefícios às culturas que respondem a essa condição.

A irrigação por gotejamento possibilita manter a umidade do solo na zona radicular próximo da capacidade de campo, com a aplicação de pequenas vazões em elevada frequência, aplicações de fertilizantes via água de irrigação, baixas pressões e altas eficiências, geralmente superior a 90%, possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação (BERNARDO et al., 2006).

O sistema de gotejamento subsuperficial na cana-de-açúcar apresenta vantagens como: redução da perda de água por evaporação direta da superfície do solo, escoamento superficial reduzido, flexibilidade do uso de máquinas agrícolas, maior disponibilidade de nutrientes (uma vez que o ponto de emissão de água se encontra mais próximo da raiz), maior dificuldade de germinação de sementes de plantas daninhas nas entrelinhas, além de uso mais racional dos recursos hídricos. Do ponto de vista da produtividade, a grande vantagem estaria na possibilidade de aumentar o número de safras antes da renovação do canavial.

O gotejamento subsuperficial tem se destacado muito nos últimos anos, pelos grandes resultados encontrados nas diversas pesquisas realizadas em regiões de cultivo expressivo de cana-de-açúcar no país (FARIAS et al., 2008; DALRI & CRUZ, 2008; GAVA et al., 2010). Mediante todas estas vantagens e possibilidades de utilização, o gotejamento e suas aplicações vem sendo estudado por diversos pesquisadores (COELHO, 2007; TEIXEIRA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2010; CUNHA et al., 2013), principalmente em relação a seu comportamento hidráulico, aplicação de fertilizantes via água de irrigação (Fertirrigação) e os principais fatores causadores de entupimento.

Dalri et al. (2014) cita que para viabilizar o uso da irrigação por gotejamento na cultura da cana-de-açúcar há necessidade que as linhas laterais com os seus respectivos emissores sejam enterrados, pois, desta maneira, o manejo da cultura, bem como as colheitas anuais não ficam prejudicados. A irrigação por gotejamento subsuperficial é

uma adaptação do tradicional sistema de gotejamento, que se caracteriza especificamente pela localização dos gotejadores abaixo da superfície do solo.

3.7 Fertirrigação com Nitrogênio Via Gotejamento Subsuperficial

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, são muitos os trabalhos encontrados na literatura que indicaram a importância do N na cultura da cana-de-açúcar (GAVA et al., 2010; FRANCO et al., 2011, VITTI et al., 2011).

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 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).

A cultura da cana-de-açúcar 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 de 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).

Este nutriente se encontra em cerca de 1% da massa seca total da planta, mas sua deficiência causa a redução na síntese de clorofila, de aminoácidos essenciais e da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (EPSTEIN & BLOOM, 2004).

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação deve seguir as recomendações de período de aplicação, frequência, doses e fontes, para assegurar, dessa maneira, a adequada disponibilidade de água e nutrientes na zona radicular da planta.

3.8 Crescimento da Cana-de-açúcar

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).

A análise de crescimento em plantas é considerada um método padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura em seu ambiente de produção. Esse método tem sido utilizado para investigar efeitos de fenômenos ecológicos (adaptabilidade, diferenças genotípicas na capacidade produtiva, efeitos de competição e influência de práticas agronômicas) sobre o crescimento das plantas. A análise de crescimento consiste na medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica na planta (biomassa), considerando a produção de massa de matéria seca e descreve as condições morfológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diversos órgãos no crescimento total (MARAFON, 2012).

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.

Uma seleção criteriosa de características morfofisiológicas apropriadas, e de métodos expeditos para quantificá-las, seria muito valiosa aos programas de melhoramento da cana-de-açúcar para o desenvolvimento de plantas tolerantes a períodos de seca (PINCELLI, 2010).

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.

As características varietais definem o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciados pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas (MASCHIO, 2011).

A área foliar é um dos mais importantes parâmetros da análise de crescimento, podendo ser medida através de aparelhos específicos ou de fórmulas que permitem sua estimativa, em muitos casos, com bastante precisão (MAGRO et al., 2011).

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 sistema radicular, além do próprio acúmulo de sacarose no colmo (MACHADO et al., 2008).

Dantas Neto et al. (2006) observaram efeito significativo do diâmetro do colmo em função da disponibilidade hídrica. 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.

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).

3.9 Produtividade e Qualidade da Cana-de-açúcar

De acordo com Bernardo (2007), define-se como função de produção a relação técnica entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produtividade física possível de se obter com a tecnologia existente. Segundo Doorenbos & Kassam (1979), a produtividade de uma cultura é função de complexos processos biológicos, fisiológicos, físicos e químicos, os quais são determinados pelas condições ambientais (clima, solo e água) e por fatores genéticos da própria cultura. Uma função de produção “água cultura” típica é quando se relaciona a lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura versus a produtividade comercial (BERNARDO, 2007).

Quando as plantas atingem a maturação, é interessante que elas sofram estresse hídrico, que reduz a taxa de crescimento vegetativo, desidratando a cana e forçando a transformação de todos os açúcares em sacarose recuperável. Com a paralisação do crescimento vegetativo, aumenta também a relação entre a matéria seca armazenada como sacarose e a utilizada para novo crescimento (GOUVÊA, 2008).

Segundo Inman-Bamber & Smith (2005), a água é considerada fator limitante à produção da cana-de-açúcar, pois, à medida que sua disponibilidade aumenta, a cultura expressa seu potencial produtivo com diferentes respostas entre as variedades.

Para o uso eficiente da água pela cana-de-açúcar, é fundamental identificar a necessidade hídrica responsável pelas máximas produções (WIEDENFELD & ENCISO, 2008). A diferença de eficiência de utilização de água em relação à produtividade de colmos, verificada nos genótipos se deve sem dúvida, à capacidade que cada genótipo possui de tolerar o estresse hídrico e, em seguida, rapidamente se regenerar (SMIT & SINGELS, 2006).

Dantas Neto et al. (2006) e Farias et al. (2008) afirmaram que para a obtenção de produtividade elevada atingindo o potencial genético da cultura, o uso da tecnologia de irrigação é imprescindível.

O Açúcar Total Recuperável (ATR) é hoje amplamente utilizado na comercialização da cana ao fornecedor, através do sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade da matéria-prima fornecida (Sistema Consecana). Pelo sistema, o valor da cana-de-açúcar se baseia no chamado ATR, que corresponde à quantidade de açúcar disponível na matéria-prima subtraída das perdas no processo industrial, e nos

preços do açúcar e do etanol vendidos pelas usinas nos mercados interno e externo (CONSECANA, 2006).

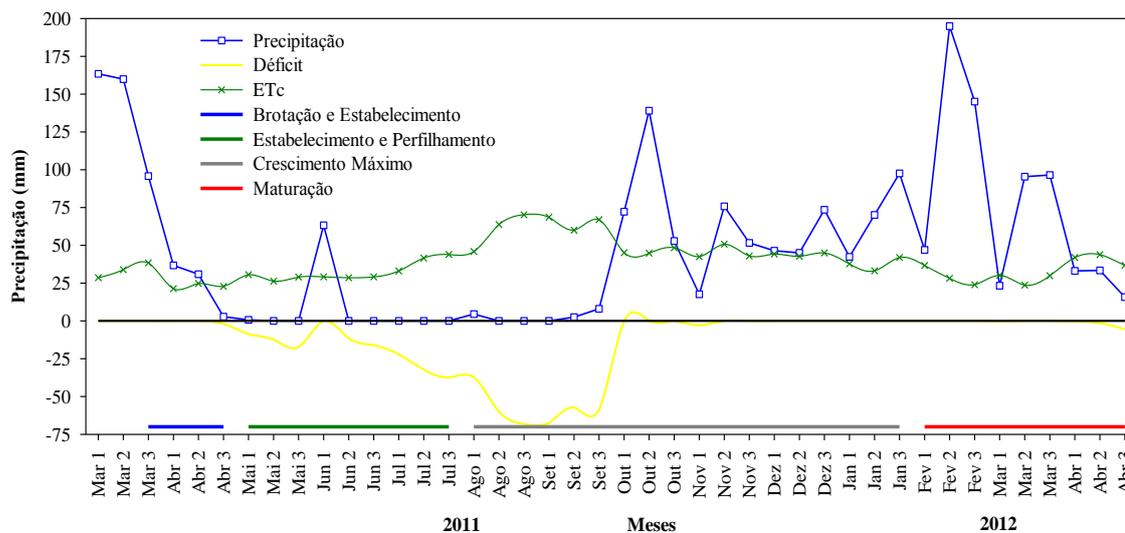
Além das necessidades de alta produção de cana-de-açúcar por hectare, há um interesse maior, que é a alta produção de sacarose. A síntese e o acúmulo rápido de açúcares acontecem durante a fase de maturação. Por isso, o crescimento vegetativo é reduzido nesta fase. Conforme a maturação avança, açúcares simples (monossacrídeos, como frutose e glicose) são convertidos em sacarose (um dissacarídeo). A maturação da cana-de-açúcar procede de baixo para cima e, desse modo, a parte inferior contém mais açúcares do que a porção superior (LISSON et al., 2005; INMAN-BAMBER et al., 2009). Para que isso ocorra, é preciso encontrar condições de temperatura e umidade adequadas para permitir o desenvolvimento da cultura na fase vegetativa, seguida do período de certa restrição hídrica e térmica para forçar a maturação da cana-de-açúcar. A qualidade da cana-de-açúcar é a concentração total de açúcares (sacarose e açúcares redutores), recuperáveis no processo industrial e expressa em quilograma por tonelada de cana (GOUVEIA NETO et al., 2012).

Vários fatores podem interferir na qualidade final da matéria-prima. O rendimento e a produção de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar irrigada dependem da quantidade de água aplicada, do manejo de irrigação combinado com a quantidade certa de adubação, da variedade, da idade do corte, do tipo de solo e do clima (DANTAS NETO et al., 2006). Fatores que vão desde o tipo de solo até a variedade escolhida e o manejo da irrigação, além da adubação, interferem no cultivo da cana-de-açúcar e conseqüentemente na produtividade e na qualidade final da matéria-prima.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características e Localização da Área Experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo, no período de março de 2011 a maio de 2012 (Cana-planta) e de junho de 2012 a junho de 2013 (Cana-soca), na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen & Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade). A precipitação observada durante os meses de cultivo para cana-planta safra 2011/12 foram para 2011: março (419,1 mm); abril (70,4 mm); maio (0,7 mm); junho (63,3 mm); julho (0 mm); agosto (4,5 mm); setembro (10,5 mm); outubro (10,5 mm); novembro (264,1 mm) e dezembro (145 mm). Para 2012: janeiro (164 mm) fevereiro (210 mm); março (387 mm); abril (215 mm) e maio (82,3 mm), conforme Figura 1.

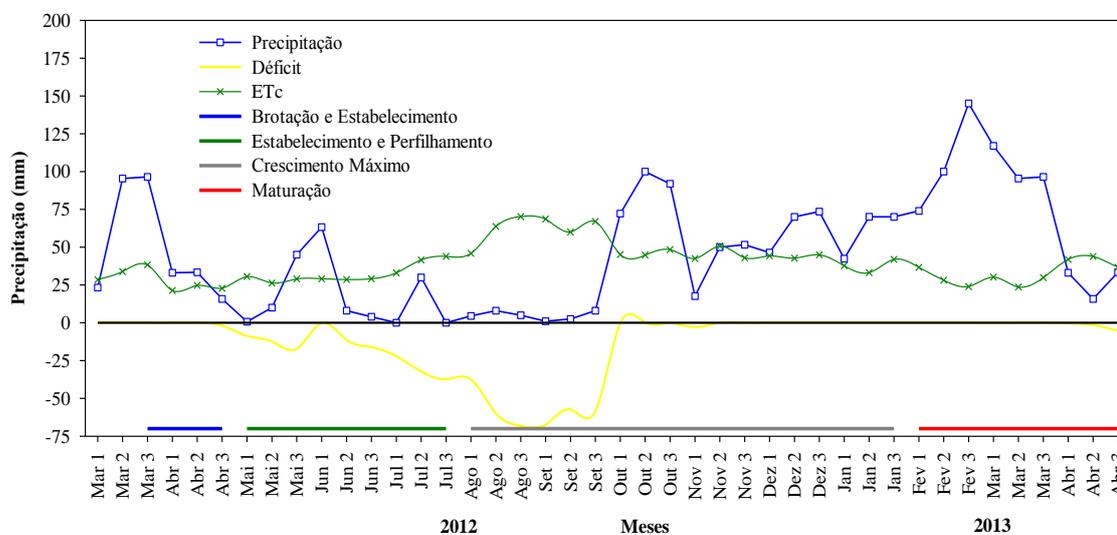


Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO.

Figura 1. Balanço hídrico decenal do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (Cana-planta safra 2011/12).

A precipitação observada durante os meses de cultivo para cana-soca safra 2012/13 foram para 2012: junho (75,3 mm); julho (30 mm); agosto (17,5 mm); setembro

(11,5 mm); outubro (264,1 mm); novembro (119,2 mm) e dezembro (189,9 mm). Para 2013: janeiro (182,5 mm) fevereiro (319,1 mm); março (308,9 mm); abril (82,3 mm) e maio (319,1 mm), conforme Figura 2.



Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO.

Figura 2. Balanço hídrico decenal do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (Cana-soca safra 2012/13).

4.2 Caracterização do Solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase cerrado, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013), cujas características químicas desse solo se encontram na Tabela 1.

Para as determinações de solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas em anéis de Uhland de 6,34 cm de diâmetro e 5 cm de altura, e ainda, amostras deformada, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, que serão submetidas ao laboratório de análise de solo, para determinações físicas e análises químicas do solo.

A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico conforme Embrapa (1997); A densidade de partículas (Dp) foi determinada utilizando água destilada e eliminação à vácuo do ar do picnômetro de acordo com Blake & Hartge (1986); A porosidade total (PT) foi obtida a partir dos valores da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp), através da equação proposta por Vomocil (1961), conforme equação 1:

$$PT = \frac{Ds}{Dp} \quad (1)$$

A microporosidade (Micro) foi determinada segundo metodologia descrita por Embrapa (1997), considerando o conteúdo de água retido no potencial matricial de 6 kPa; A macroporosidade (Macro) foi calculada com base na diferença entre porosidade total e microporosidade; A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

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 Mehlich⁻¹. M.O - Matéria orgânica. V - Saturação por bases.

4.3 Preparo do Solo

Para a condução do ensaio, selecionou-se a área de 2300 m², que antes do plantio da cana-de-açúcar, foi cultivada por 20 anos com pastagem.

O preparo inicial do solo consistiu de gradagem prévia com o intuito de eliminar a vegetação existente, distribuição de calcário dolomítico, na dosagem de 2,0 t ha⁻¹, com base nos resultados da análise de solo, com intuito de elevar a saturação por bases, conforme recomendado por Sousa & Lobato, 2004. O corretivo foi distribuído 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, realizou-se a gradagem de nivelamento (Figura 3).



Figura 3. Calagem e preparo do solo da área experimental.

Na sequência, o solo foi sulcado a 30 centímetros de profundidade e adubado para o plantio da cana-de-açúcar. Para a construção dos sulcos de plantio, utilizando de subsolagem e posterior retirada de solo, que fora realizada manualmente, formando o leito de plantio (Figura 4).

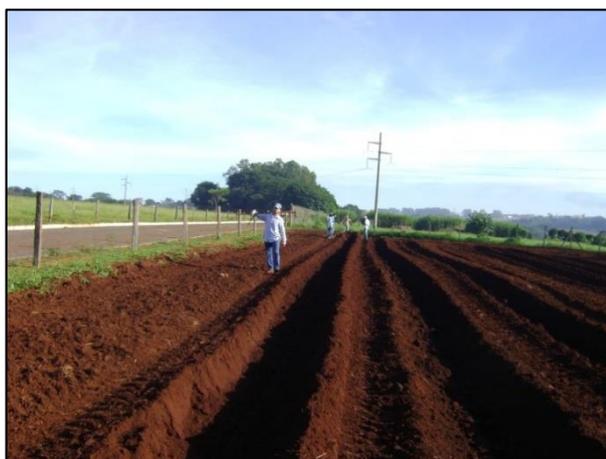


Figura 4. Preparo dos sulcos para plantio em fila dupla na área experimental.

4.4 Adubação

Todas as parcelas dos tratamentos foram adubadas com fósforo e potássio, segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004). À exceção dos tratamentos sem nitrogênio, os demais tratamentos receberam 100 kg ha^{-1} de N-ureia, 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 -super simples e 80 kg ha^{-1} de K_2O -cloreto de potássio. Os fertilizantes fosforado e potássico foram aplicados no sulco de plantio e o nitrogênio ao longo do crescimento da cultura por meio do sistema de irrigação (Tabela 2).



Figura 5. Adubação das parcelas experimentais.

4.5 Curva Característica de Retenção de Água no Solo

Na determinação das curvas de retenção de água no solo, quatro amostras indeformadas de solo foram saturadas e submetidas às tensões de 1, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa nos funis de placa porosa, 33, 66, 100, 500 e 1.500 kPa nos aparelhos extratores de Richards (EMBRAPA, 1997).

Após realização das análises, a curva característica de água no solo foi obtida, ajustando o conteúdo de água no solo (θ) no eixo das ordenadas (escala decimal) em função da tensão de água no solo (ψ_m) correspondente ao eixo das abscissas (escala logarítmica), ajustando a equação de van Genuchten (1980) utilizando o programa RETEC v. 6.02 (van GENUCHTEN, 2009), conforme equação 1:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha \times |\psi_m|)^n\right]^m} \quad (2)$$

θ = umidade volumétrica, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

θ_r = umidade volumétrica residual, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

θ_s = umidade volumétrica na saturação, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

m , n e α = parâmetros de ajuste. Com $m = 1 - 1/n$ (MUALEM, 1976).

4.6 Implantação do Experimento

Para condução desse estudo, foram implantadas parcelas experimentais, constituídas de três sulcos de linha dupla (plantio “em W” ou plantio em “abacaxi”) com espaçamento de 0,40 m entre sulcos e 1,80 m entre linhas de gotejo e 8 metros de comprimento, totalizando 52,8 m² de área total por parcela, sendo cultivada a variedade RB 85-5453.

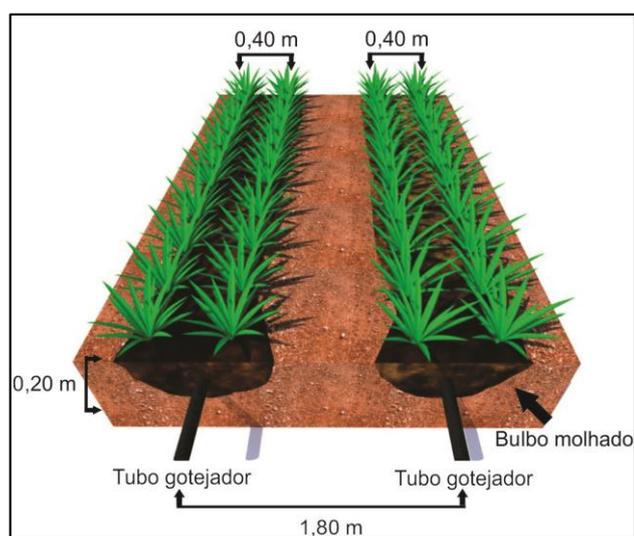


Figura 6. Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.



Figura 7. Foto do experimento implantado no campo.

4.7 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 x 2 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco lâminas de irrigação (100, 75, 50, 25 e 0% de Reposição hídrica); Com (100 kg ha⁻¹ de N), na

forma de ureia, e Sem aplicação de N via água de irrigação (Fertirrigação) por gotejamento subsuperficial; e dois ciclos de cultivo (cana-planta e soca).

4.8 Sistema de Irrigação

A captação foi realizada em um 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, hidrômetro, sistema injetor de fertilizante tipo Venturi, manômetro, registros e válvulas antivácuo. Os registros, no total de 8 (oito), liberam a irrigação para os tratamentos irrigados, separando-os conforme lâmina a ser aplicada e conforme adição ou não de fertirrigação. Dos registros saem as tubulações de PVC e foram conectadas as linhas laterais (Figura 8).



Figura 8. Fotos do conjunto motobomba e do cabeçal de controle do sistema de irrigação.

O tubo gotejador foi enterrado a 20 cm de profundidade da superfície do solo, entre dois sulcos de plantio, sendo que o mesmo apresentou as seguintes características: tubo gotejador modelo Dripnet PC 16150 com parede delgada, pressão de serviço de 1 bar, vazão nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$ e espaçamento entre gotejadores de 0,50 m.

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

O dispositivo para monitoramento de vazão em tubos gotejadores subsuperficiais em campo é composto por um recipiente de PVC com dimensões de 0,1 m x 0,25 m (Figura 9).



Figura 9. Foto do dispositivo para monitoramento de vazão nos tubos gotejadores.

Os dispositivos foram instalados em uma das três linhas laterais de cada parcela, permitindo a realização de vazões no decorrer de todo ciclo de cultivo de um gotejador por parcela, somando quatro gotejadores por linha lateral, totalizando 8 gotejadores monitorados em cada bloco.

O procedimento para leitura individual da vazão dos gotejadores consistiu na pressurização do sistema, posicionamento de recipientes (Coletor “Fabrimar”) sob os respectivos gotejadores com a defasagem de 5 segundos, e posterior retirada dos recipientes após 5 minutos.

Para a medição da pressão de serviço, à entrada da linha de emissores, foi utilizado um manômetro de bourdon com faixa de leitura de 0 – 4 Kgf cm⁻².

Depois de tabulados os volumes, efetuou-se os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição pelas (equações 3 a 5):

$$q = \frac{V}{1000t} 60 \quad (3)$$

em que:

V – volume de água coletado, L;

t – tempo de coleta, min;

q – vazão do gotejador, L h⁻¹.

$$CV_q = \frac{s}{q} 100 \quad (4)$$

em que:

CVq – coeficiente de variação da vazão, %;

s – desvio padrão da vazão dos gotejadores, $L h^{-1}$;

\bar{q} – vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$.

$$UD = \frac{q_{25\%}}{q_{média}} \cdot 100 \quad (5)$$

em que:

UD – uniformidade de distribuição, %;

$q_{25\%}$ - vazão média de ¼ dos menores valores, $L h^{-1}$;

$q_{média}$ – vazão média, $L h^{-1}$.

4.9 Manejo das Lâminas de Irrigação

A irrigação foi conduzida com base na tensiometria digital de punção com sensibilidade de 0,1 kPa, sendo as hastes tensiométricas instaladas nas profundidades de 20 e 40 cm de profundidade, implantados nas parcelas irrigadas a 100% de reposição hídrica, retiradas a 15 cm de um gotejador. Para instalação dos tensiômetros foi utilizado um trado de rosca, com diâmetro correspondente ao das hastes tensiometricas. A leitura dos tensiomentros foi realizada passados 15 dias da instalação. Foi implantado três repetições de baterias tensiomentricas cada uma contendo 4 tensiomentros em cada profundidade monitorada para maior precisão. As leituras foram realizadas diariamente, e foi considerado o limite de 40 kPa para realizar as irrigações proporcionais a cada tratamento.

Para o cálculo da lâmina (mm) e do tempo de aplicação (minutos) foram utilizadas as (equações 6 e 7):

$$LL = \frac{(\theta_{cc} - \theta_{atual})}{10} \times Z \quad (6)$$

$$Tempo = 60 \times 10^{-3} \left(\frac{LL \times A}{Q} \right) \quad (7)$$

em que:

LL - lâmina a ser aplicada (mm);

θ_{cc} - umidade na capacidade de campo ($cm^3.cm^3$), obtida a partir da curva de retenção de água no solo;

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

Z - profundidade do solo (cm);

A - área da parcela irrigada;

Q - vazão do sistema ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) no tratamento controle (100% de reposição hídrica).

4.10 Sistema de Fertirrigação

A fertirrigação com N foi parcelada durante o ciclo de cultivo num total de dez aplicações, que foram realizadas em concentrações iguais para todas as parcelas de forma a aplicar a quantidade homogênea de nutrientes. A aplicação de N ocorreu simultaneamente a irrigação, sem a aplicação de diferentes lâminas. Para injeção dos fertilizantes no sistema de irrigação, optou-se por um injetor Venturi que seccionava os fertilizantes depois de dissolvidos em uma caixa reservatório com capacidade para 350 L, conforme exemplificado na Figura 10.



Figura 10. Foto do sistema de injeção dos fertilizantes diluídos na água contida no reservatório.

Na aplicação dos fertilizantes via água de irrigação, primeiramente era aplicada somente água para o equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação, e permitir maior uniformidade de distribuição do fertilizante, em seguida era feita a fertirrigação e ao término se aplicava água para lavar o sistema de irrigação.

4.11 Determinações de Variáveis Morfológicas

As características morfológicas foram avaliadas mensalmente nas linhas centrais de cada parcela, quantificando: Altura de Planta (AP); Diâmetro de colmo (DC); Número

de Folhas (NF); Área Foliar (AF); Número de Entrenós (NE); Número de Perfilhos (NPE) e Número de Plantas (NPA). A altura da planta foi mensurada com auxílio de fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha +1 (folha +1 é aquela que se pode visualizar completamente o colarinho), e expresso em cm; O diâmetro de colmos foi determinado pelo auxílio do paquímetro no terço médio da planta, e expresso em mm; O número de folhas foi determinado pela contagem das folhas totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1; A área foliar foi determinada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999):

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2) \quad (8)$$

em que,

C - comprimento da folha +3;

L - largura da folha +3;

0,75 - fator de correção para área foliar da cultura;

N - número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde;

O número de plantas foi determinado a partir da contagem de todas as plantas que continham acima de seis folhas completamente expandidas; O número de perfilhos foi determinado a partir da contagem de todas as plantas que continham menos de seis folhas completamente expandidas; O número de entrenós foi obtido pela contagem em todo o colmo das plantas a partir do destacamento dos primeiros colmos.

Foram demarcadas três plantas aleatórias em um metro linear no centro da linha dupla principal, para análise mensal das variáveis, conforme Figura 11.



Figura 11. Foto da área útil e das três plantas demarcadas no centro de cada parcela experimental.

Depois de avaliações, os dados foram agrupados segundo os estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Conforme Diola & Santos (2012), em que os estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar se dividem em quatro fases, a saber: (a) Brotação e estabelecimento da cultura; (b) Perfilhamento: estende-se desde o final da brotação até 120 dias após o plantio; (c) Desenvolvimento vegetativo e crescimento dos colmos: inicia-se logo após a fase de perfilhamento até 270 dias após o plantio; (d) Maturação: fase de síntese e acúmulo de açúcar, que dura de 270-300 até 360 dias após o plantio. Sendo que neste estudo as avaliações iniciaram após o estágio (a) Brotação e estabelecimento da cultura, além disso, cada estágio foi chamado de fase: (b) Fase I – perfilhamento; (c) Fase II – crescimento máximo; (d) Fase III – maturação.

4.12 Determinação da Qualidade Industrial

Foi realizado o monitoramento do Brix da cana em campo, nas três últimas semanas antes da colheita. Para a determinação racional do ponto de colheita da cana, tem-se utilizado o parâmetro conhecido como Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando um refratômetro portátil, calculado a partir da divisão do Brix do ápice pelo Brix da base do colmo. Para a cana-de-açúcar, os valores de IM admitidos foram: (a) menor que 0,60 para cana verde; (b) entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; (c) entre 0,85 e 1 para cana madura; e (d) maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose (CESNIK & MIOCQUE, 2004; ROSSETO, 2012). No momento em que se atingiu Índice de Maturação ($IM = \text{Brix do Ápice} / \text{Brix da Base}$) igual a um, foram coletadas amostras de quatro colmos de cada parcela, totalizando 16 colmos completos por tratamento, que foram submetidos à avaliação no laboratório pertencente

a Usina São Francisco em Quirinópolis – GO, para a determinação dos açúcares totais recuperáveis (ATR), e expresso em (kg ton^{-1}).

4.13 Produtividade

Por ocasião da colheita, a produtividade foi determinada através da pesagem total dos colmos presentes na área útil das respectivas parcelas foi quantificado o peso dos colmos presentes nas duas linhas centrais de cada parcela, cujo valor foi extrapolado para (ton ha^{-1}). Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo, conforme descrito para condições de cana-planta e soca. Os colmos foram então despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg.

4.14 Análises Estatísticas

Os dados das variáveis biométricas obtidos em cada fase de desenvolvimento, a produtividade de colmos e o ATR obtidos na colheita, 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. Para o fator aplicação de nitrogênio e ciclo, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Altura de Planta (AP)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável AP, apresentaram efeito significativo isoladamente para todas as fases com relação aos fatores RH e C, e para o fator N na fase III. Observa-se que as interações entre estes fatores apresentaram significância para RH x C na fase II e N x C na fase III. Estes resultados mostram que a RH e o C tiveram efeito durante todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo que está resposta apresentou dependência entre o fator RH e C na fase II; N e C na fase III, conforme Tabela 2. Pincelli (2010) e Gonçalves (2008) também encontraram respostas diferenciais para altura em quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica, sendo que uma dessas variedades corresponde a mesma utilizada neste trabalho.

O CV não apresentou variações elevadas para a variável AP, variou de 11,47 a 2,93%, pode-se observar ainda, que no decorrer dos crescimento e desenvolvimento, o CV tendeu a diminuir da fase I para a fase III, indicando menor variação na AP verificados em função dos tratamentos, evidenciando dessa forma, uma boa precisão experimental na determinação da AP (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Altura de Planta (AP)		
		Fase I	Fase II	Fase III
		QM		
Reposição Hídrica (RH)	4	77,5934**	1565,8114**	2301,5057**
Nitrogênio (N)	1	8,547781 ^{ns}	91,2926 ^{ns}	1480,0601**
Ciclo (C)	1	8250,1251**	3801,9031**	7610,4609**
Interação RH x N	4	18,0008 ^{ns}	70,6120 ^{ns}	79,5374 ^{ns}
Interação RH x C	4	2,1027 ^{ns}	250,7422**	150,4253 ^{ns}
Interação N x C	1	4,2827 ^{ns}	68,9689 ^{ns}	506,2192**
Interação RH x N x C	4	19,2891 ^{ns}	32,0526 ^{ns}	39,2954 ^{ns}
Bloco	3	19,2891 ^{ns}	89,4212 ^{ns}	109,0705 ^{ns}
Resíduo	57	14,2218	77,1693	70,2554
CV		11,47	6,60	2,93

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

A AP analisado isoladamente quanto ao fator C na fase I apresentou a média superior em 6,58% para cana-planta quando comparado a cana-soca, conforme Tabela 3.

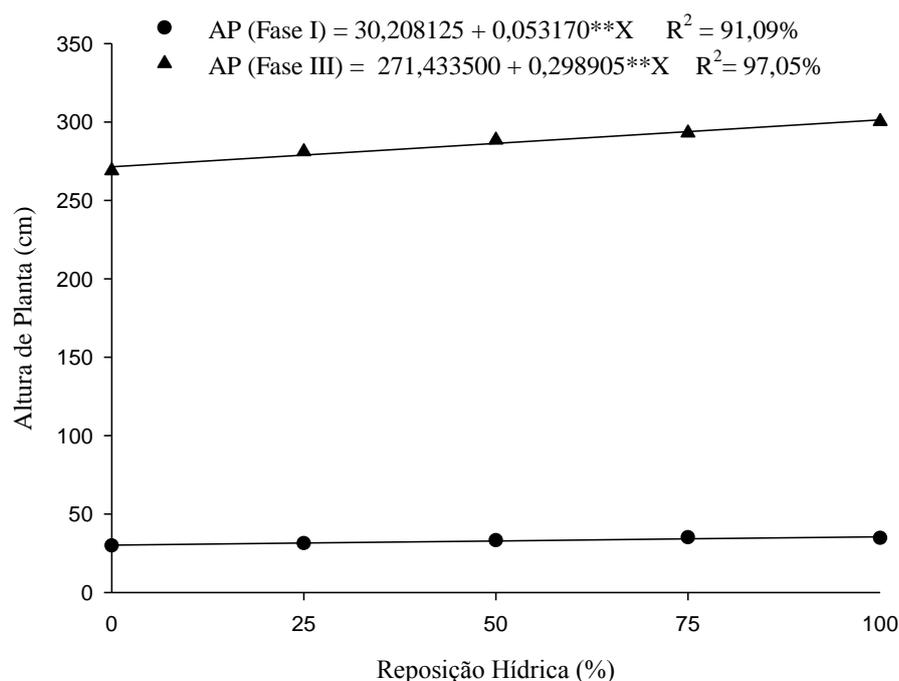
Estes resultados evidenciam que a condição de cana-planta propicia maior crescimento das plantas na fase inicial de cultivo por consumir as reservas oriundas do tolete. Farias et al. (2008) obtiveram, para a cana-de-açúcar irrigada, altura máxima de 152,80 cm aos 193,85 dias e taxa de crescimento em altura, aos 280 dias após o plantio (DAP), de 0,5457 cm dia⁻¹.

Tabela 3. Teste de médias para o fator C na fase I da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Altura de Planta (AP)
	Fase I
	Médias (cm)
Cana-planta	296,1322 a
Cana-soca	276,6252 b

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade; FV – Fontes de variação; C - ciclo.

A AP quando analisada isoladamente na fase I e III em função da RH, adequaram-se a relações lineares, com R² de 91,09 e 97,05%, indicando que apenas 8,91 e 2,95% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada. Mediante os resultados estimados para a Fase I e III, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve incremento de 1,33 e 7,47 cm, que correspondem respectivamente a 3,74 e 2,47%, totalizando incrementos de até 5,33 e 29,88 cm, que correspondem respectivamente 14,96 e 9,88% para RH de 100%, conforme Figura 12.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 12. Altura de planta em função da Reposição Hídrica na Fase I e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Na fase III, o desdobramento do fator N dentro C apresentou efeito significativo para Cana-soca, sendo a maior média foi observada em ComN. Já para o desdobramento de C dentro de N apresentou efeito significativo para ComN e SemN sendo que as maiores médias foram observadas em Cana-planta, conforme Tabela 4.

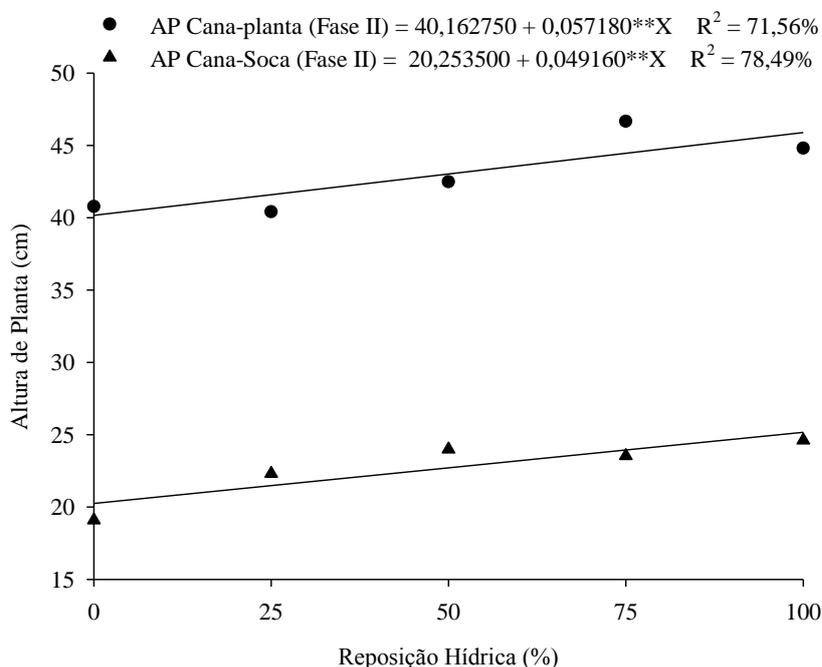
Tabela 4. Teste de media para o desdobramento do fator N x C na Fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Fase III	Altura de Plantas (AP)	
	Cana-planta	Cana-soca
	Médias (cm)	
ComN	294,3465 A	283,4422 Ba
SemN	297,9180 A	269,8085 Bb

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação.

O desdobramento da AP para fator RH dentro de C na fase II, adequou-se a relação linear, com R^2 de 71,56 e 78,49%, respectivamente para cana-planta e cana-soca, indicando que 28,44 e 21,51% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada na Fase II. Mediante os resultados estimados para cana-planta e soca, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 1,42 e 1,22 cm, que

correspondem respectivamente a 3,11 e 4,88%, totalizando incrementos de até 5,68 e 4,88 cm, que correspondem respectivamente a 12,44 e 19,52% para RH de 100%, conforme Figura 13.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 13. Altura de planta em função da Reposição Hídrica na Fase II da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Na fase II, o desdobramento do fator C dentro RH apresentou efeito significativo a partir de 25% de RH, sendo que as maiores médias foram observadas em Cana-soca, com o aumento de 9,98; 14,49; 9,46 e 12,85%, respectivamente para 25, 50, 75 e 100% de RH quando comparado a Cana-planta, conforme Tabela 5. Segundo Silva et al. (2008), a variação na altura da planta é indicativo de tolerância ou suscetibilidade da cana-de-açúcar ao déficit hídrico. Para Cintra et al. (2008), afirmam que os estágios intermediários (desenvolvimento) respondem à lâmina de irrigação, mas o déficit hídrico não causa tantos prejuízos à produtividade quanto os primeiros: portanto, o intervalo de irrigação pode ser ampliado, porém a lâmina de água deve ser aumentada. Com o suprimento adequado de água, esse estágio é atingido rapidamente e a altura final da cana também é maior.

Tabela 5. Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na Fase II de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Altura de planta (AP)			
	25%	50%	75%	100%
	Médias (cm)			
Cana-planta	122,2250 b	121,5350 b	132,7325 b	135,4425 b
Cana-soca	135,7900 a	142,1375 a	146,6112 a	155,4250 a

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação; C – ciclo.

5.2 Diâmetro de Colmos (DC)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável DC, apresentaram efeito significativo isoladamente para todas as fases com relação aos fatores RH e C, e para o fator N na fase III. Quando analisada a interação entre estes fatores houve significância para RH x C na fase I. Estes resultados mostram que a RH e o C tiveram efeito durante todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo que está resposta apresentou dependência na fase I, conforme Tabela 6.

O CV não apresentou variações elevadas para a variável DC, variou de 8,60 a 4,99%, pode-se observar ainda, que no decorrer do crescimento e desenvolvimento, o CV tendeu a diminuir da fase I para a fase III, indicando menor variação na DC verificados em função dos tratamentos, evidenciando dessa forma, uma boa precisão experimental na determinação do DC (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Diâmetro de Colmos (DC)		
		Fase I	Fase II	Fase III
		QM		
Reposição Hídrica (RH)	4	22,1556**	15,5522**	28,5424**
Nitrogênio (N)	1	1,3056 ^{ns}	24,4205 ^{ns}	26,1747**
Ciclo (C)	1	635,0645**	145,5840**	262,1604**
Interação RH x N	4	4,4763 ^{ns}	1,2174 ^{ns}	1,2803 ^{ns}
Interação RH x C	4	11,7544**	2,0339 ^{ns}	1,1951 ^{ns}
Interação N x C	1	5,0400 ^{ns}	3,0342 ^{ns}	0,1248 ^{ns}
Interação RH x N x C	4	2,1325 ^{ns}	0,1318 ^{ns}	0,5386 ^{ns}
Bloco	3	2,0829 ^{ns}	2,6149 ^{ns}	1,3702 ^{ns}
Resíduo	57	3,1034	2,3121	2,8089
CV		8,60	5,15	4,99

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

O DC analisado isoladamente quanto ao fator C na fase II e III, apresentou a média superior em 8,74 e 10,22%, respectivamente para fase II e III, para cana-planta quando comparado a cana-soca, e quanto ao fator N na fase III, apresentou a média superior em 3,34% para ComN quando comparado a SemN, conforme Tabela 7.

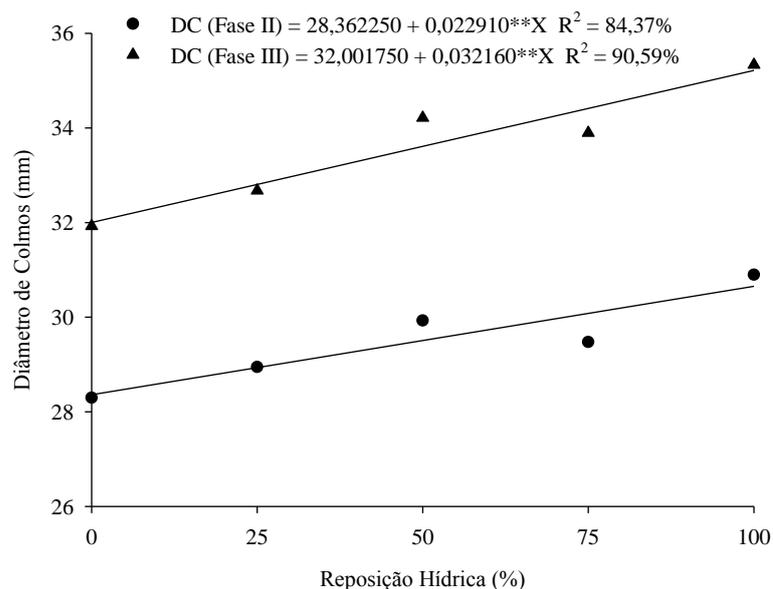
Apesar destes resultados pode-se dizer que esta redução no DC não foi tão proeminente uma vez que a cana-de-açúcar de um ciclo a outro pode apresentar valores de redução de DC elevados. Já com relação à adubação nitrogenada e notório o maior aproveitamento pelas plantas quando aplicada via água de irrigação.

Tabela 7. Teste de médias para o fator C na fase II e III, e fator N na fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Diâmetro de Colmos (DC)	
	Fase II	Fase III
	Médias (mm)	
Cana-planta	30,8567 a	35,4200 a
Cana-soca	28,1587 b	31,7995 b
N	Fase III	
ComN	34,1817 a	
SemN	33,0377 b	

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação; C – ciclo.

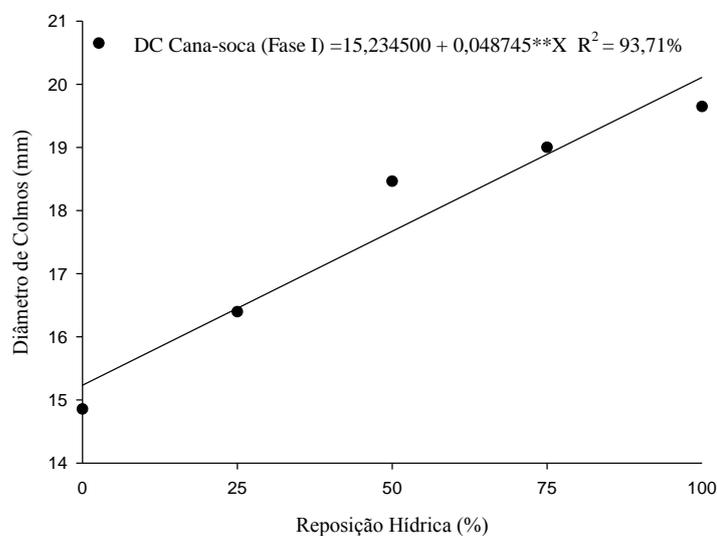
O DC quando analisado isoladamente para o fator RH na fase II e III, adequaram-se a relações lineares, com R^2 de 84,37 e 90,59%, respectivamente para fase II e III, indicando que 15,65 e 9,41% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada na fase II e III. Mediante os resultados estimados para fase II e III, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 1,86 e 0,80 mm, que correspondem respectivamente a 1,86 e 2,28%, totalizando incrementos de até 7,44 e 3,20 mm, que correspondem respectivamente a 7,44 e 9,12% para RH de 100%, conforme Figura 14.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 14. Diâmetro de colmos em função da Reposição Hídrica na Fase II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

O desdobramento do DC para fator RH x C na fase I, adequou-se a relação linear, com R^2 de 93,71%, indicando que apenas 6,29% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada. Mediante os resultados estimados, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 1,21 mm, que corresponde a 6,06%, totalizando incremento de até 4,84 mm, que corresponde a 24,24% para RH de 100%, conforme Figura 15.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 15. Diâmetro de colmos em função da Reposição Hídrica na fase I da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Na fase o desdobramento do fator C dentro RH, apresentou efeito significativo para todos os níveis de RH, sendo que as maiores médias foram observadas em Cana-planta, com o aumento de 34,26; 30,63; 19,34; 16,86 e 17,37%, respectivamente para 0, 25, 50, 75 e 100% de RH quando comparado a Cana-soca, conforme Tabela 8. Os resultados obtidos corroboram com Moura et al. (2005), que consideram adequados valores de DC acima de 22 mm para a cana-de-açúcar irrigada.

Tabela 8. Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na fase I de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Diâmetro de Colmos (DC)				
	0%	25%	50%	75%	100%
	Médias (mm)				
Cana-planta	22,6000 a	23,6362 a	22,8900 a	23,6300 a	23,7775 a
Cana-soca	14,8550 b	16,3962 b	18,4612 b	19,0000 b	19,6462 b

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação; C – ciclo.

5.3 Número de Folhas (NF)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável NF, apresentaram efeito significativo isoladamente para todas as fases com relação ao fator C e na fase II e III para o fator RH, conforme Tabela 9.

Estes resultados evidenciam a relação baixa entre a irrigação por gotejamento subsuperficial nos ciclos de cultivo avaliados em relação ao NF. Machado et al. (2009) observaram que a deficiência hídrica também causa acentuada senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas, e o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende do genótipo (SMIT & SINGELS, 2006).

O CV não apresentou variações elevadas para a variável NF, variou de 6,36 a 5,39%, pode-se observar ainda, que no decorrer do crescimento e desenvolvimento, o CV tendeu a diminuir da fase I para a fase III, indicando a menor variação na NF verificados em função dos tratamentos, evidenciando dessa forma, uma boa precisão experimental na determinação do NF (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Número de Folhas (NF)		
		Fase I	Fase II	Fase III
		QM		
Reposição Hídrica (RH)	4	0,2784 ^{ns}	0,3894 [*]	2,6478 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	0,0610 ^{ns}	0,0832 ^{ns}	0,983461 ^{ns}
Ciclo (C)	1	41,1988 ^{**}	36,9920 ^{**}	164,3651 ^{**}
Interação RH x N	4	0,4803 ^{ns}	0,0644 ^{ns}	0,1930 ^{ns}
Interação RH x C	4	0,3474 ^{ns}	0,1203 ^{ns}	0,2502 ^{ns}
Interação N x C	1	0,0005 ^{ns}	0,00002 ^{ns}	0,0159 ^{ns}
Interação RH x N x C	4	0,1949 ^{ns}	0,1814 ^{ns}	0,0386 ^{ns}
Bloco	3	0,1855 ^{ns}	0,3428 ^{ns}	0,0245 ^{ns}
Resíduo	57	0,2229	0,1501	0,2491
CV		6,36	4,74	5,39

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

Machado et al. (2009) observaram que dois genótipos avaliados apresentaram redução significativa na quantidade de folhas verdes, decorrente do déficit hídrico. Smit & Singels (2006) relataram que a senescência foliar é responsiva ao déficit hídrico e ocorre após a redução no surgimento de folhas.

O NF analisado isoladamente quanto ao fator C nas fases I, II e III, apresentou a média superior em 17,63; 15,35 e 26,79%, respectivamente para fase I, II e III, para cana-planta quando comparado a cana-soca, conforme Tabela 10. O NF encontrado neste trabalho está de acordo com previsto por Magro et al. (2011) que afirmam que a planta madura de cana-de-açúcar tem um número de folhas verdes por talo é ao redor de dez, dependendo da variedade e condições de crescimento.

Tabela 10. Teste de médias para o fator Ciclo Fase I, II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

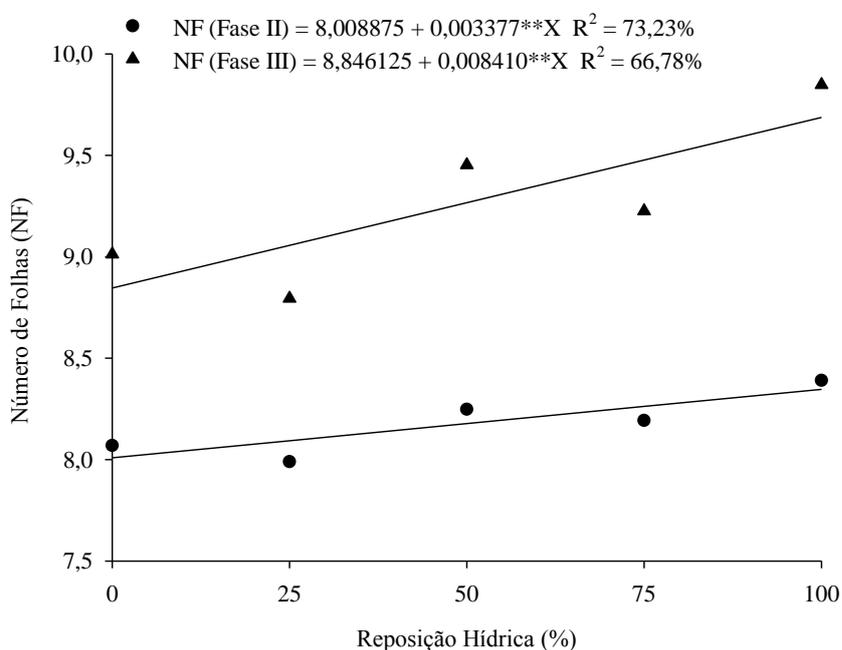
FV	Número de Folhas (NF)		
	Fase I	Fase II	Fase III
C			
	Médias		
Cana-planta	8,1415 a	8,8577 a	10,7000 a
Cana-soca	6,7062 b	7,4977 b	7,8332 b

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação; C – ciclo.

O NF quando analisado isoladamente para o fator RH na fase II e III, adequaram-se a relações lineares, com R² de 66,78 e 73,23%, respectivamente para fase II e III,

indicando que 33,22 e 26,67% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada. Mediante os resultados estimados para fase II e III, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 0,08 e 0,21 mm, que correspondem respectivamente a 1,01 e 2,17%, totalizando incrementos de até 0,32 e 0,84 mm, que correspondem respectivamente a 4,04 e 8,68% para RH de 100%, conforme Figura 16.

A redução de FV tem sido relatada quanto a plantas com déficit hídrico (PIMENTEL, 2004) e atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER et al., 2008). Se a senescência foliar e a paralisação do surgimento de folhas forem respostas ao déficit hídrico dependentes do genótipo (SMIT & SINGELS, 2006), o número de folhas verdes pode ser usado como indicador do efeito do déficit hídrico em cana-de-açúcar, conforme sugere Inman-Bamber (2004).



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 16. Número de Folhas em função da Reposição Hídrica na fase II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Oliveira et al. (2007) Verificaram que a ocorrência dos maiores índices de área foliar ocorreu no período de dezembro a abril. Fase que o IAF ficou mais constante e próximo de 4,0. Após esta fase, as cultivares diminuiram o número de folhas e a área foliar por perfilho, sendo que RB855113 apresentou maior redução (52%), registrada

entre 377 DAP e a colheita (497 DAP). Para Pincelli (2010) a variável número de folhas verdes se caracteriza como importante, pois por intermédio desta se pode verificar a eficiência fotossintética da planta frente aos estresses propostos. Este mesmo autor observou, sob condições ideais de umidade no substrato houve aumento no número de folhas verdes em todas as cultivares, que foram maiores significativamente do que os valores sob restrição hídrica aos 28 e 56 dias após tratamento (DAT). Para esta variável também foi possível identificar respostas diferenciais para cultivares sob deficiência hídrica, isto é, as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 apresentaram 5 e 7 folhas, respectivamente, aos 56 DAT, e as cultivares RB855453 e RB72454 ambas com 3 folhas sob o mesmo período.

5.4 Área Foliar (AF)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável AF, apresentaram efeito significativo isoladamente para todas as fases com relação aos fatores RH e C, e para o fator N na fase III. Quando se analisa a interação entre estes fatores houve significância para RH x C nas fases I, II e III e para N x C na fase III. Estes resultados mostram que a RH e o C tiveram efeito durante todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo que está resposta apresentou dependência entre o fator RH e C em todas as fases e para N e C na fase III, conforme Tabela 11. Machado et al. (2009) constataram que para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera (PIRES et al., 2008). Inman-Bamber & Smith (2005) relatam que a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, causando sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose.

Estes resultados evidenciam a relação direta entre a irrigação por gotejamento subsuperficial e os ciclos avaliados na cana-de-açúcar para a AF (Tabela 11).

O CV apresentou a variação um pouco elevada na fase I para a variável AP, mas, de maneira geral variou de 15,73 a 7,26%, pode-se observar ainda, que no decorrer dos crescimento e desenvolvimento, o CV tendeu a diminuir da fase I para a fase III (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Área Foliar (AF)		
		Fase I	Fase II	Fase III
		QM		
Reposição Hídrica (RH)	4	134261,5772**	578455,7694**	2336224,1879**
Nitrogênio (N)	1	29368,4480 ^{ns}	148514,8568 ^{ns}	855866,7018**
Ciclo (C)	1	10918001,2270**	208064328,9780**	532170565,9474**
Interação RH x N	4	2080,3952	101551,9504 ^{ns}	28794,2613 ^{ns}
Interação RH x C	4	108938,5487**	469991,8690**	2030819,1363**
Interação N x C	1	30059,1564 ^{ns}	130152,1713 ^{ns}	697141,5340**
Interação RH x N x C	4	3027,7555 ^{ns}	89673,4741	26277,6468 ^{ns}
Bloco	3	10532,2190 ^{ns}	180698,8686**	72810,2177 ^{ns}
Resíduo	57	9071,5235	40498,0491	56920,6962
CV		15,73	9,75	7,26

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

Na fase III, o desdobramento do fator N dentro C apresentou efeito significativo para Cana-soca, sendo a maior média foi observada em ComN. Já para o desdobramento de C dentro de N apresentou efeito significativo para ComN e SemN sendo que as maiores Médias foram observadas em Cana-planta, conforme Tabela 12.

Tabela 12. Resumo da análise de desdobramento do fator N x C na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

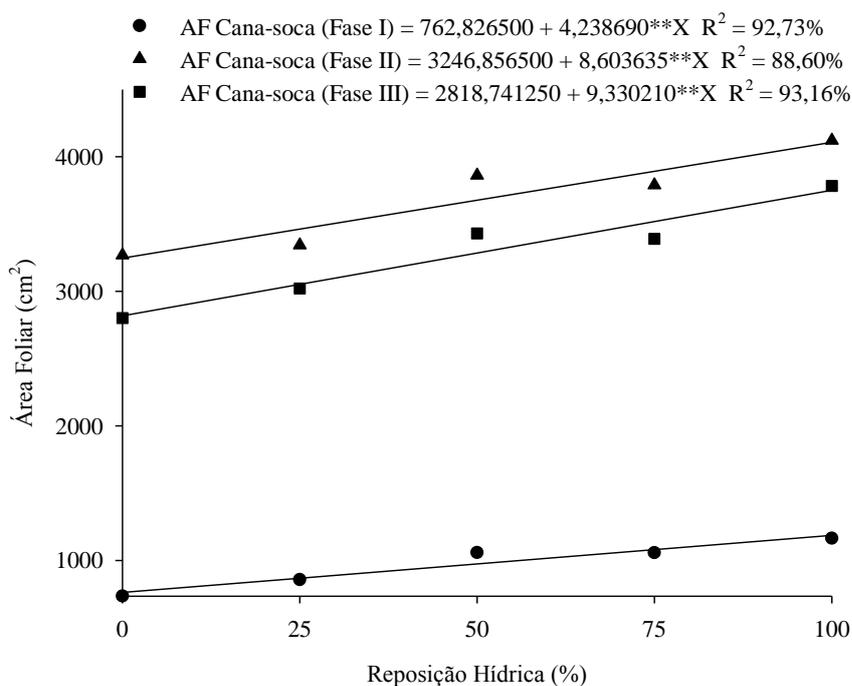
FV	Área Foliar (AF)
N	Fase III
	Médias (cm ²)
ComN/Cana-soca	6061,2075 b
SemN/Cana-soca	5667,6415 a
C	Fase III
Cana-planta/ComN	7161,615 a
Cana-soca/ComN	6959,965 b
Cana-planta/SemN	6061,2075 a
Cana-soca/SemN	5667,6415 b

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação; N – nitrogênio; C – ciclo.

O desdobramento da AF para fator RH x C na fase I, II e III, adequaram-se a relações lineares, com R² de 93,16; 88,60 e 92,73%, respectivamente para fase I, II e III, indicando que 6,84; 11,4 e 7,27% das variações não são explicadas pela variação da RH

aplicada na fase I, II e III. Mediante os resultados estimados para fase I, II e III, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 105,96; 215,09 e 233,25 mm, que correspondem respectivamente a 8,93; 5,23 e 6,21%, totalizando incrementos de até 423,84; 860,36 e 933,0 mm, que correspondem respectivamente a 35,72; 20,92 e 24,84% para RH de 100%, conforme Figura 17.

Resultados encontrados por Pincelli (2010) indicaram redução da área foliar sob deficiência hídrica em todas as cultivares, entretanto as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 apresentaram maior área foliar sob falta de água que as cultivares RB855453 e RB72454 ao final do período de avaliação, porém este período durou apenas 56 DAT.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 17. Área Foliar em função da Reposição Hídrica na Fase I, II e III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Na fase I, II e III, o desdobramento do fator C dentro RH apresentou efeito significativo para todos os níveis de RH N. A fase I, II e III, sendo que as maiores médias foram observadas na Cana-planta, com o aumento de 33,90; 35,80; 45,08; 43,35 e 47,64%; 48,94; 75,42; 54,55; 80,16 e 24,48%; 73,87; 77,77; 86,92; 82,53 e 93,16%, respectivamente para 0, 25, 50, 75 e 100% de RH quando comparado a Cana-soca, conforme Tabela 13.

Tabela 13. Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Área Foliar (AF)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Fase I	Médias (cm ²)				
Cana-planta	2169,800 a	2393,600 a	2346,687 a	2440,100 a	2445,337 a
Cana-soca	735,7087 b	857,0050 b	1058,0537 b	1057,9800 b	1165,0575 b
Fase II	Médias				
Cana-planta	4212,725 a	4432,512 a	4450,725 a	4727,000 a	4758,862 a
Cana-soca	3269,2475 b	3343,1237 b	3861,8300 b	3789,4525 b	4121,5375 b
Fase III	Médias (cm ²)				
Cana-planta	6678,987 a	6884,925 a	7079,125 a	7326,662 a	7334,250 a
Cana-soca	4934,2212 b	5354,4200 b	6153,6462 b	6046,9287 b	6832,9062 b

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação; C – ciclo.

Para Oliveira et al. (2007) o estudo da área foliar em cultivares na cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento.

5.5 Número de Entrenós (NE)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável NE, apresentaram efeito significativo isoladamente para fase II com relação aos fatores RH e C. Quando se analisa a interação entre estes fatores houve efeito significativo para RH x C na fase III, conforme Tabela 14. Arantes (2012) obteve resultados quanto ao número de entrenós que correlacionaram positivamente com a produtividade colmos, sob manejo irrigado e sequeiro.

Estes resultados evidenciam a relação direta entre a irrigação por gotejamento subsuperficial e a fase de maturação da cana-de-açúcar para a NE (Tabela 14).

O CV apresentou a variação pouco elevada da fase II para a III de 9,34 para 3,98%, indicando que no decorrer dos crescimento e desenvolvimento, o CV tendeu a diminuir da fase II para a fase III, para NE, indicando uma boa precisão experimental (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Número de Entrenós (NE)	
		Fase II	Fase III
		QM	
Reposição Hídrica (RH)	4	1,4422 ^{**}	3,4772 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	0,0227 ^{ns}	0,2761 ^{ns}
Ciclo (C)	1	3,5490 ^{**}	109,2781 ^{**}
Interação RH x N	4	0,6032 ^{ns}	0,6868 ^{ns}
Interação RH x C	4	0,2674 ^{ns}	0,2570 ^{ns}
Interação N x C	1	0,3850 ^{ns}	0,0045 ^{ns}
Interação RH x N x C	4	0,3679 ^{ns}	0,8231 ^{**}
Bloco	3	0,7837 ^{ns}	0,1499
Resíduo	57	0,3284	0,3087
CV		9,34	3,94

^{ns} não significativo; ^{**}, ^{*} significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

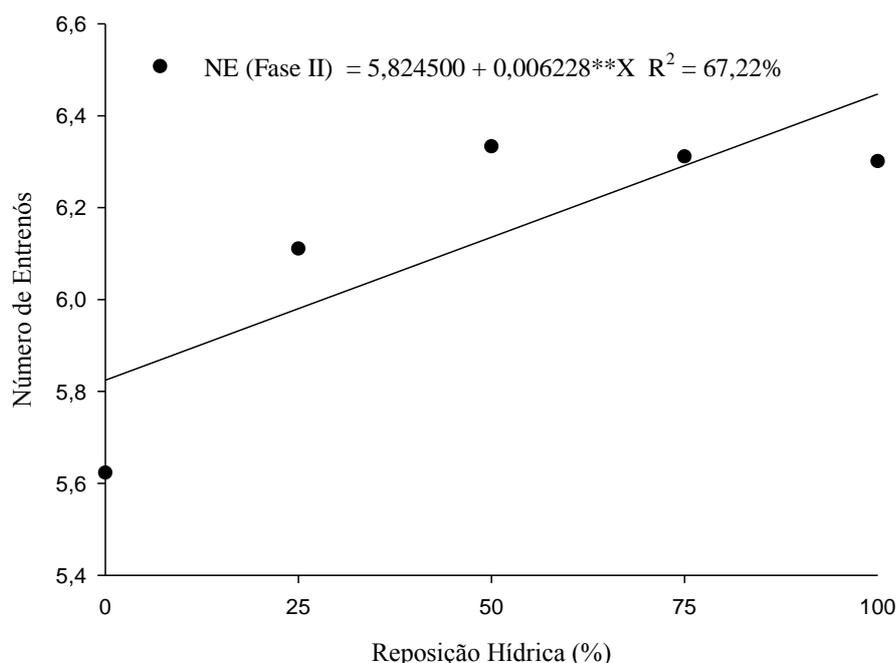
O NE analisado isoladamente quanto ao fator C nas fases II, apresentou a média superior em 38,62% para cana-planta quando comparado a cana-soca, conforme Tabela 15.

Tabela 15. Teste de médias para o fator C nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Número de Entrenós (NE)	
	Fase II	
	Médias*	
Cana-planta	5,9252 a	
Cana-soca	6,3465 b	

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação; C – ciclo.

O NE quando analisado isoladamente para o fator RH na fase II, adequou-se a relação linear, com R^2 de 67,22%, indicando que 32,78% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada na fase II, Mediante os resultados estimados para fase II, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 0,15, que corresponde respectivamente a 2,41%, totalizando incremento de até 0,6, que corresponde respectivamente a 9,64% para RH de 100%, conforme Figura 18.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 18. Número de entrenós em função da Reposição Hídrica na Fase II da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

A análise do desdobramento de N dentro de cada nível de RH Ciclo na fase III, apresentou efeito significativo para 0% RH na Cana-soca sendo que a maior média foi observada no tratamento ComN, com o aumento médio de 9,67% quando comparado a SemN, conforme Tabela 16.

Tabela 16. Resumo da análise do desdobramento de N dentro de cada nível de RH C na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	Número de Entrenós (NE)	
	ComN	SemN
	Médias	
0% Cana-soca	12,9175 a	11,6675 b

* Médias seguidas de mesma letra na linha não difere entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.
FV – Fontes de variação.

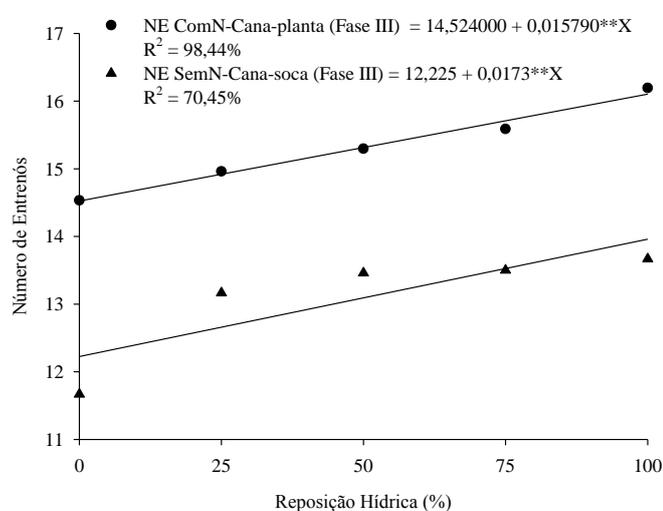
A análise do desdobramento de Ciclo dentro de cada nível de RH N na fase III, apresentou efeito significativo em todos os níveis avaliados sendo que as maiores Médias foram observadas em Cana-planta, com o aumento médio de 18,08% quando comparado a Cana-soca, conforme Tabela 17.

Tabela 17. Resumo da análise do desdobramento de Ciclo dentro de cada nível de RH N na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	Número de Entrenós (NE)	
	Cana-planta	Cana-soca
	Médias	
0% ComN	14,5325 a	12,9175 b
0% SemN	14,7525 a	11,6675 b
25% ComN	14,9600 a	12,5825 b
25% SemN	15,0675 a	13,1650 b
50% ComN	15,2950 a	12,9975 b
50% SemN	15,2725 a	13,4600 b
75% ComN	15,5875 a	13,0825 b
75% SemN	15,2100 a	12,3325 b
100% ComN	16,1925 a	13,3750 b
100% SemN	15,7525 a	13,6675 b

* Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação.

A análise do desdobramento de RH dentro de cada nível de N Ciclo na fase III, adequaram-se a relações lineares, com R^2 de 98,44 e 91,42% para ComN na Cana-planta, e Sem N na Cana-soca, indicando que apenas 1,56 e 8,58% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada na fase III. Mediante os resultados estimados para fase III, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 0,39, que corresponde respectivamente a 2,45%, totalizando incrementos de até 1,56, que correspondem respectivamente a 9,8% para RH de 100%, conforme Figura 19.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 19. Número de entrenós em função da Reposição Hídrica na Fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

O déficit hídrico também influenciou o número de entrenós, que reduziu esse índice nas plantas submetidas à suspensão da rega fase I, nos dois genótipos avaliados por Machado et al. (2009), o genótipo IACSP 94-2094 apresentou maior número de entrenós do que IACSP 96-2042, independentemente da fase fenológica, porém estes mesmos autores recomendam que essa variável deve ser analisada em conjunto com o comprimento de entrenó, que aumentou ($p < 0,05$) em consequência do déficit hídrico de tal forma que, quanto mais tardia foi a suspensão da rega, maior foi o comprimento do entrenó. O crescimento é afetado pelo déficit hídrico por restrições tanto na divisão como no alongamento celular em cana-de-açúcar. Decréscimos na expansão das folhas e colmo ocorrem antes da redução de folhas verdes e, posteriormente, afetam o acúmulo de fitomassa e de sólidos solúveis no caldo (INMAN-BAMBER, 2004).

5.6 Número de Perfilhos (NPE)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável NPE, apresentaram efeito significativo para a interação entre RH x C, na fase I, e isoladamente para o fator C, na fase II, conforme Tabela 18.

Estes resultados evidenciam a relação direta entre a irrigação por gotejamento subsuperficial e os ciclos avaliados na cana-de-açúcar para a NPE na fase inicial (Tabela 18).

A RH não apresentou efeito significativo na fase II, além disso, o CV apresentou a variação da fase I para II de 14,25 a 17,16%, pode-se observar ainda, que no decorrer dos crescimento e desenvolvimento, o CV tendeu a aumentar da fase I para a fase II (Tabela 18). Estes resultados são justificados pelo fato da ocorrência da grande morte de perfilhos ocorrido nesta fase, relacionado principalmente com a característica da variedade utilizada. Estes resultados estão de acordo com Cintra et al., (2008) que afirmaram que os primeiros estágios de desenvolvimento (emergência e perfilhamento) da cana-de-açúcar são os que mais sofrem prejuízos, pois são mais sensíveis ao déficit hídrico. Oliveira et al., (2004), o perfilhamento na cana-de-açúcar é crescente até o sexto mês após o plantio e a partir deste período, inicia a redução no número de perfilhos, decorrente da competição, por luz, área, água e nutrientes refletindo, assim, na diminuição e paralisação do processo, além da morte dos perfilhos mais jovens; apesar disto, verificou-se que os altos perfilhamentos de 30 e 29 plantas por metro linear, aos 60 DAP obtidos, respectivamente, pelas variedades RB92579 e SP81-3250, não influenciaram na

diminuição dos perfilhos, sendo observada redução média de 50% que proporcionou, a essas variedades, 25% a mais de plantas por metro, aos 360 DAP, em relação às demais variedades.

Tabela 18. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Número de Perfilhos (NPE)	
		Fase I	Fase II
		QM	
Reposição Hídrica (RH)	4	30,8637**	2,4187 ^{ns}
Nitrogênio (N)	1	16,7811 ^{ns}	4,7531 ^{ns}
Ciclo (C)	1	80,0400**	222,7781**
Interação RH x N	4	6,2327 ^{ns}	2,2375 ^{ns}
Interação RH x C	4	19,7587*	2,3562 ^{ns}
Interação N x C	1	1,2500 ^{ns}	4,7531 ^{ns}
Interação RH x N x C	4	10,1205 ^{ns}	0,7687 ^{ns}
Bloco	3	10,7993 ^{ns}	6,5947 ^{ns}
Resíduo	57	6,8286	1,9610
CV		14,25	17,16

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

O NPE analisado isoladamente quanto ao fator C nas fases II, apresentou a média superior em 38,62% para cana-planta quando comparado a cana-soca, conforme Tabela 19.

Tabela 19. Teste de médias para o fator C nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

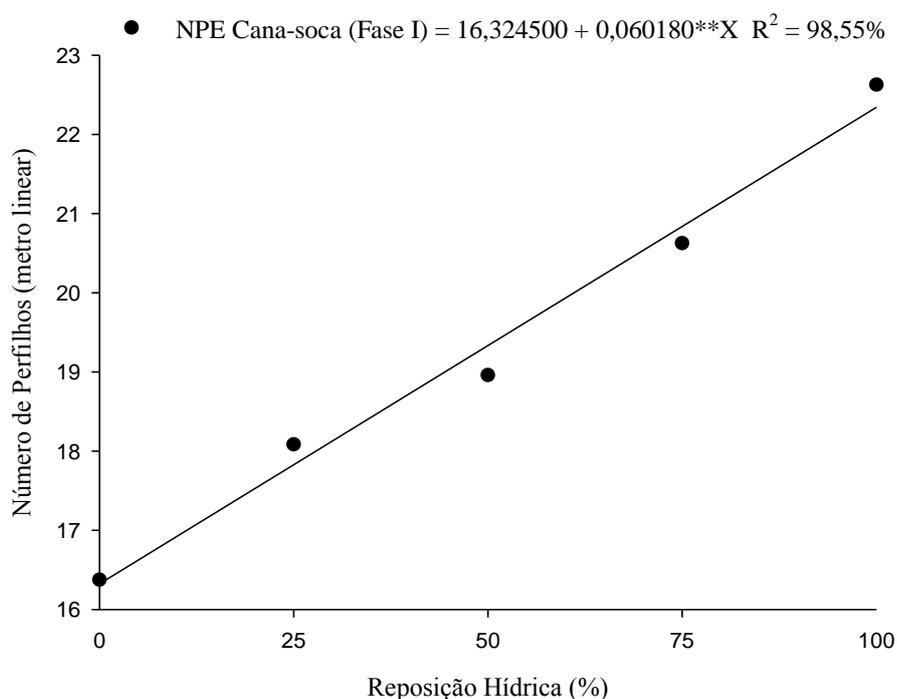
C	Número de Perfilhos (NPE)	
	Fase II	
	Médias (m)	
Cana-planta	2,1000 b	
Cana-soca	5,4375 a	

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade. FV – Fontes de variação; C – ciclo.

O desdobramento do NPE para fator RH x C na fase I, adequou-se a relação linear, com R² de 98,55% para cana-soca, indicando que apenas 1,45% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada na fase I. Mediante os resultados estimados para fase I, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 1,50, que

corresponde respectivamente a 6,73%, totalizando incrementos de até 6, que corresponde respectivamente a 26,92% para RH de 100%, conforme Figura 20.

Os resultados deste trabalho estão expressos em metro linear, se levar em consideração m^{-2} (por m^2 de área) estes resultados corresponderiam ao dobro dos resultados encontrados (Figura 20), sendo assim superiores aos resultados encontrados por Silva et al. (2012), que relataram que ao longo do ciclo o valor máximo constatado foi 42,5 perfilhos m^{-2} , assim como, Almeida et al. (2008) (40,5 perfilhos m^{-2}), para a mesma variedade (RB 92579), contudo conduzida a partir do mês de março em área mantida sob irrigação, no ciclo de soca, no Estado de São Paulo.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 20. Número de perfilhos em função da Reposição Hídrica na Fase I da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Na fase I, o desdobramento do fator C dentro RH apresentou efeito significativo na RH de 100%, sendo que a maior média foi observada em Cana-soca, com o aumento de 24,31%, quando comparada a Cana-planta, conforme Tabela 20.

Tabela 20. Teste de media para o desdobramento do fator C x RH na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Número de Perfilhos (NPE)	
	100%	
	Médias (m)	
Cana-planta	17,1250 b	
Cana-soca	22,6262 a	

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação; C – ciclo.

Machado et al. (2009) no entanto, relata a alta demanda hídrica durante a fase de formação da cana-de-açúcar, que compreende os períodos de perfilhamento e de rápido crescimento e ocorre entre 60 e 150 dias após o plantio.

5.7 Número de Plantas (NPA)

As fases da cana-de-açúcar analisadas com relação a variável NPA, apresentaram efeito significativo para a interação entre RH x C, na fase I e II, conforme Tabela 21.

Estes resultados evidenciam a relação direta entre a irrigação por gotejamento subsuperficial e os ciclos avaliados na cana-de-açúcar para a NPA (Tabela 21).

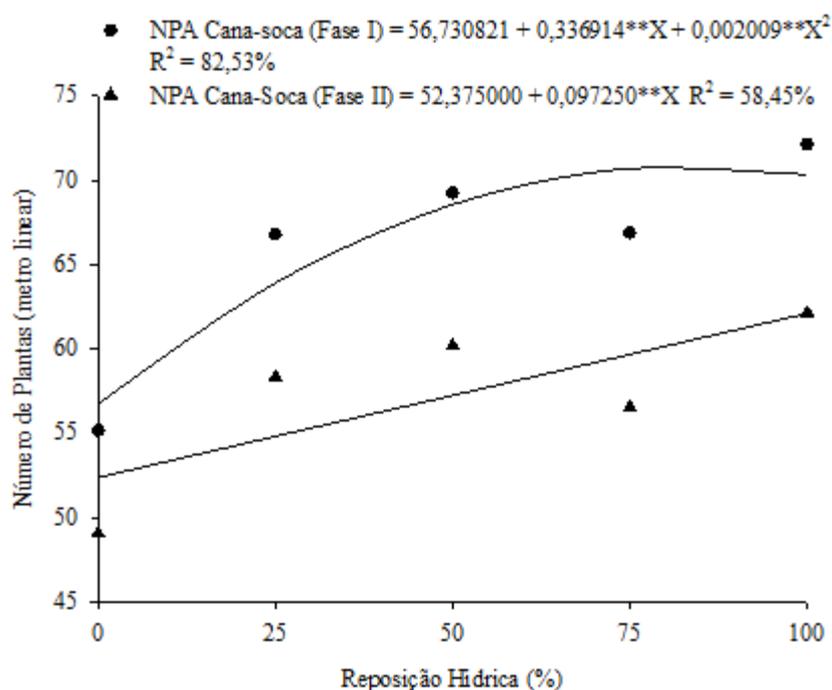
O CV apresentou a variação da fase I para II de 11,48 a 11,45%, valor que confirma a precisão experimental dos dados apesar da ocorrência da morte de plantas nestas fases avaliadas (Tabela 21).

Tabela 21. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Número de Plantas (NPA)	
		Fase I	Fase II
		QM	
Reposição Hídrica (RH)	4	180,6990**	141,7062**
Nitrogênio (N)	1	71,5176 ^{ns}	37,8125 ^{ns}
Ciclo (C)	1	40336,3656**	8221,5125**
Interação RH x N	4	21,7902 ^{ns}	14,2187 ^{ns}
Interação RH x C	4	174,2968**	111,6062**
Interação N x C	1	26,8424 ^{ns}	5,0000 ^{ns}
Interação RH x N x C	4	33,9976 ^{ns}	66,1562 ^{ns}
Bloco	3	60,2429 ^{ns}	16,3583 ^{ns}
Resíduo	57	24,1571	29,0622
CV		11,28	11,45

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

O desdobramento do NPA para fator RH x C na fase I e II, adequou-se respectivamente a relação linear e quadrática, com R^2 de 82,53 e 58,45% para cana-soca, indicando que apenas 17,47 e 41,55% das variações não são explicadas pela variação da RH aplicada na fase I e II, quando comparada a 0% aumentou 11,21; 17,24; 19,75 e 19,33%; 4,43; 8,49, 12,22 e 15,66%, respectivamente na cana-soca para 25; 50; 75 e 100% de RH na fase I e II, conforme Figura 21.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 21. Número de plantas em função da Reposição Hídrica na Fase III da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Na fase I e II, o desdobramento do fator C dentro RH apresentou efeito significativo em todos os níveis de RH, sendo que a maior média foi observada em Cana-soca, com o aumento de 61,18; 72,55; 69,01; 66,22 e 69,67%; 26,24; 41,15; 41,74; 29,42 e 36,62%, respectivamente para RH de 0, 25, 50, 75 e 100%, quando comparada a Cana-planta, na fase I e II, conforme Tabela 22. Cintra et al. (2008) citam que vários autores observaram que a fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar é a que proporciona maior quebra na produção, quando sofre estresse hídrico. Com isso, concluíram que a irrigação suplementar nessa fase é crucial para o aumento da produtividade, principalmente na cana soca, colhida no início da safra.

Tabela 22. Teste de media para o desdobramento do fator Ciclo x RH na fase III de cultivo da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

C	Número de Plantas (NPA)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Fase I			Médias (m)		
Cana-planta	21,4150 b	18,3337 b	21,4587 b	22,5837 b	21,8750 b
Cana-soca	55,1675 a	66,7925 a	69,2500 a	66,8750 a	72,1262 a
Fase II			Médias (m)		
Cana-planta	36,1875 b	34,3125 b	35,0625 b	39,8750 b	39,3750 b
Cana-soca	49,0625 a	58,3125 b	60,1875 a	56,5000 a	62,1250 a

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação; C – ciclo.

5.8 Produtividade de Colmos (PC) e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR)

As variáveis produtivas PC e ATR apresentaram efeito significativo para a interação entre RH x C e RH x N, conforme Tabela 23.

Estes resultados evidenciam a relação direta entre a irrigação por gotejamento subsuperficial, o N aplicado via fertirrigação na PC e ATR da cana-de-açúcar (Tabela 23). O efeito significativo do nitrogênio nas variáveis produtivas 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, por apresentar sincronismo maior de disponibilização e absorção de nutrientes para as plantas (GAVA et al., 2011; KÖLLN, 2012).

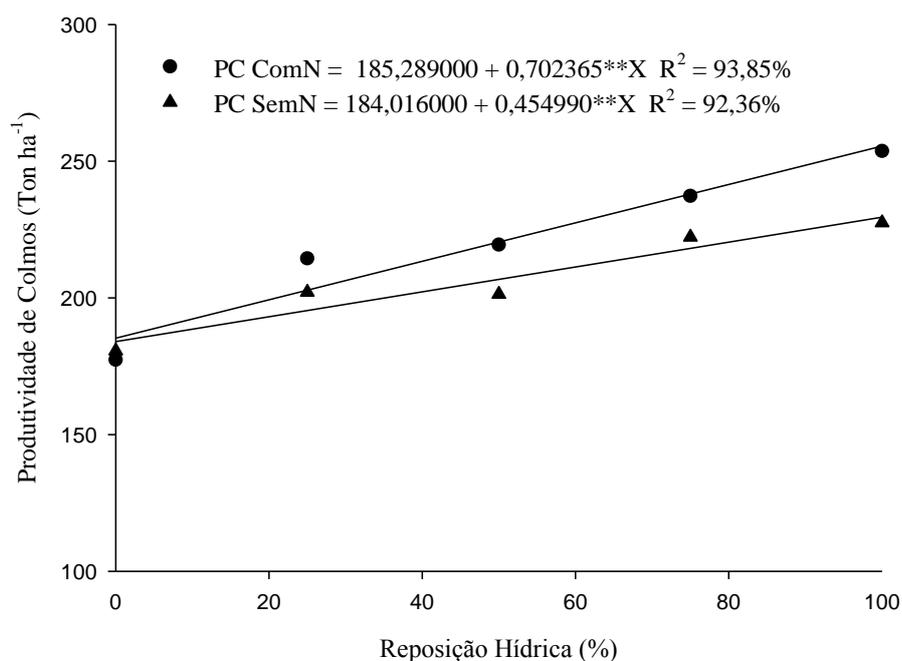
Tabela 23. Resumo da análise de variância para os fatores Reposição Hídrica, Nitrogênio e Ciclo nas diferentes fases da cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

FV	GL	Produtividade de Colmos (PC)	Açúcares Totais Recuperáveis (ATR)
			QM
Reposição Hídrica (RH)	4	8901,8255**	35,2612*
Nitrogênio (N)	1	3721,9468**	1,5680*
Ciclo (C)	1	1380,3518**	1764,5689**
Interação RH x N	4	470,1070**	72,4670*
Interação RH x C	4	1000,1658**	99,4806**
Interação N x C	1	49,6912 ^{ns}	3,4113 ^{ns}
Interação RH x N x C	4	39,7506 ^{ns}	42,697577 ^{ns}
Bloco	3	83,1985 ^{ns}	23,8724 ^{ns}
Resíduo	57	104,4843	23,8762
CV		4,79	3,32

^{ns} não significativo; ** ; * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de liberdade; QM – Quadrado médio; CV – Coeficiente de Variação.

O desdobramento da PC para o fator RH x N se adequou respectivamente a relações lineares, com R^2 de 93,85 e 92,36% para ComN e Sem N, indicando que apenas 6,15 e 7,64% das variações não são explicadas pela variação da RH. Mediante os resultados estimados, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 17,56 e 11,37 Ton ha⁻¹, que correspondem respectivamente a 6,87 e 4,95%, totalizando incrementos de até 70,24 e 45,48 Ton ha⁻¹, que correspondem respectivamente a 27,48 e 19,80% para RH de 100%, conforme Figura 22.

Kölln (2012) também constatou elevação da matéria seca em função da dose de N e também do manejo irrigado para os dois ciclos de cultivo. No manejo irrigado por gotejamento subsuperficial os incrementos verificados em função da elevação da dose de N (0 para 140 kg ha⁻¹ 2008/09) e (0 para 150 kg ha⁻¹ 2009/10) foram de 40 e 52% respectivamente para o 1º e 2º ciclo de cultivo. No entanto, no manejo com déficit hídrico (sequeiro) a adubação nitrogenada elevou a produtividade de colmos em 35 e 43% respectivamente para o 1º e 2º ciclos.



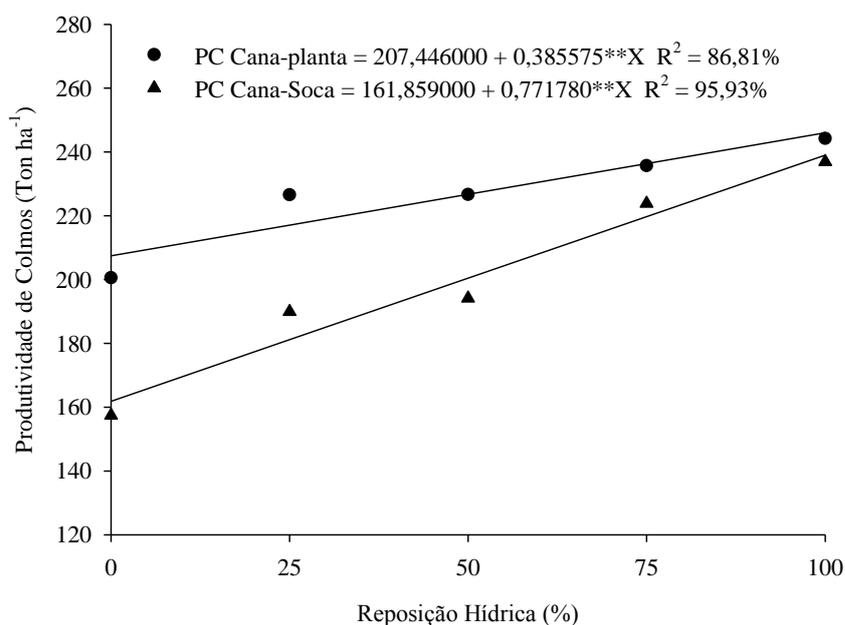
** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 22. Produtividade de Colmos em função da Reposição Hídrica x N na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

O desdobramento da PC para o fator RH x C se adequou respectivamente a relações lineares, com R^2 de 86,81 e 95,93% para Cana-planta e Cana-soca, indicando

que apenas 13,19 e 4,07% das variações não são explicadas pela variação da RH. Mediante os resultados estimados, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 9,64 e 19,29 Ton ha⁻¹, que correspondem respectivamente a 3,92 e 8,07%, totalizando incrementos de até 38,56 e 77,16 Ton ha⁻¹, que correspondem respectivamente a 15,68 e 32,28% para RH de 100%, conforme Figura 23.

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. Entretanto, estes valores foram superiores aos encontrados por Gava et al. (2011) que observaram a interação entre manejo (irrigação por gotejamento e sequeiro) e os genótipos (diferentes cultivares de cana-de-açúcar). Houve resposta significativa da aplicação do sistema de irrigação por gotejamento, com incremento médio de 24% na produção dos colmos e de 23% na produção de açúcar. Dalri (2004) também trabalhando com irrigação por gotejamento obteve resultados semelhantes com incrementos médios de 28,21% em produtividade de colmos.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

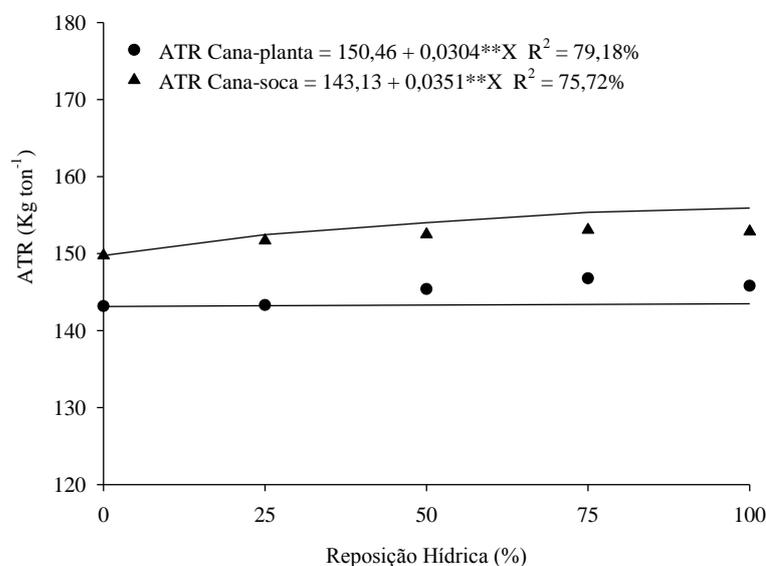
Figura 23. Produtividade de Colmos em função da Reposição Hídrica x Ciclo na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Para Gava et al. (2010) a cultivar SP80-3280 elevou sua produtividade de colmos em 33%, em ambos os períodos e produtividade de açúcar, em 25 e 33% nos períodos de 2007 e 2008, respectivamente. Para a RB867515 observa-se o aumento de 18 e 15%,

respectivamente, para produtividade de colmos e de açúcar, no período de 2007, e de 28% de produtividade de colmos e açúcar para o período de 2008. A cultivar RB855536, embora menor, também apresentou diferenças significativas em relação aos atributos avaliados, com elevação na ordem de 6% para produtividade de colmos e de 4% para a produtividade de açúcar em 2007, mas no período de 2008 elevou a produtividade de colmos e de açúcar em 22%.

O desdobramento da ATR para o fator RH x C se adequou respectivamente a relações lineares, com R^2 de 75,72 e 79,18% para Cana-planta e Cana-soca, indicando que 24,28 e 20,82% das variações não são explicadas pela variação da RH. Mediante os resultados estimados, pode-se observar que a cada 25% de RH, houve o incremento de 1,54 e 0,36 Kg ton^{-1} , que correspondem respectivamente a 1,08 e 0,26%, totalizando incrementos de até 6,16 e 1,44 Kg ton^{-1} , que correspondem respectivamente a 4,32 e 1,04% para RH de 100%, conforme Figura 24.

Oliveira et al. (2011) não encontraram modificações no ATR com a quantidade total de água disponibilizada à cultura. Farias et al. (2009), em estudo realizado no Tabuleiro Costeiro Paraibano, analisaram o efeito de lâminas de água de irrigação na qualidade industrial da cana-de-açúcar, observando forte correlação entre as variáveis. Houve tendência de aumento dos ATR (açúcares totais recuperáveis), para maiores valores de lâmina de água aplicada.



** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 24. Açúcares Totais Recuperáveis em função da Reposição Hídrica x Ciclo na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Para PC, o desdobramento do fator N dentro de RH e C dentro de RH apresentou efeito significativo em todos os níveis de RH, exceto em 0% para N e 75% para C, sendo que a maior média foi observada em ComN, com o aumento de 5,72; 8,24; 6,32 e 10,32% comparado a Sem N, respectivamente para a RH de 25, 50, 75 e 100%. Já para C dentro de RH as maiores Médias foram observadas em Cana-planta, com aumento de 21,51; 16,16; 14,33 e 5,03% quando comparada a Cana-soca, conforme Tabela 24. Kölln (2012) Verificou-se interação entre a fertilização com N e irrigação (N - água) para acúmulo de N nos colmos no primeiro ciclo de cultivo, MSC, TCH e TPH para o segundo ciclo de cultivo.

Tabela 24. Teste de media para o desdobramento do fator C x RH para PC na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Produtividade de colmos (PC)				
N	25%	50%	75%	100%
Médias (Ton ha ⁻¹)				
ComN	214,3887 a	219,4212 a	237,2625 a	253,6612 a
SemN	202,1125 b	201,3337 b	222,2475 b	227,4700 b
C	0%	25%	50%	100%
Médias (Ton ha ⁻¹)				
Cana-planta	200,5537 a	226,5675 a	226,6262 a	235,6837 a
Cana-soca	157,4125 b	189,9337 b	194,1287 b	223,8262 b

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação; N – nitrogênio; C – ciclo.

Para ATR, o desdobramento do fator N dentro de RH teve efeito significativo para RH de 50 e 75%, sendo as maiores médias observadas em ComN, com aumentos correspondentes a 5,11 e 4,43% quando comparado a SemN. Já para C dentro de RH e as maiores Médias foram observadas em Cana-soca, com aumento de 3,98; 6,85; 7,75; 1,95 e 10,25%, correspondentes respectivamente a 0, 25, 50 e 100% de RH, quando comparada a Cana-planta, conforme Tabela 25. Estes valores são superiores aos encontrados por Goveia Neto (2012) em que o ATR médio para cana-planta e cana-soca foi 140,14 e 134,49 kg t⁻¹ de cana; na cana-planta o valor do ATR foi 4,03% superior em comparação com a cana-soca. Dalri & Cruz (2008), obtiveram resposta significativa da irrigação por gotejamento subsuperficial, nos dois ciclos da cultura estudados, soca e a ressoca tiveram incrementos de 38,4% e 72,9% na produção de ATR, para cana soca e a ressoca, respectivamente.

Tabela 25. Teste de media para o desdobramento do fator C x RH para ATR na cana-de-açúcar, Rio Verde, Goiás, safras 2011/2012 e 2012/2013.

Açúcares Totais Recuperáveis (ATR)					
N		50%		75%	
Médias (kg ton ⁻¹)					
ComN		142,7387 b		144,9237 b	
SemN		150,4325 a		151,6462 a	
C	0%	25%	50%	75%	100%
Médias (kg ton ⁻¹)					
Cana-planta	145,6500 b	142,5800 b	140,6750 b	146,8200 a	137,1900 b
Cana-soca	151,7000 a	153,0712 a	152,4962 a	149,7500 a	152,8625 a

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade, FV – Fontes de variação; N – nitrogênio; C – ciclo.

Autores como Gouveia Neto (2012) trabalhando com dados referentes ao rendimento de açúcar (kg de açúcar ha⁻¹) em função da quantidade total de água recebida pela cultura nos dois ciclos. Para determinação desta variável leva-se em consideração o valor do ATR (kg de ATR t⁻¹ de cana) multiplicado pela produtividade de colmos da cultura (t de colmos ha⁻¹); pelo cálculo do rendimento de açúcar envolver outras variáveis de grande importância, este se torna um índice bastante complexo. O aumento da quantidade total de água recebida pela cultura na época de cana-planta não causou variação no rendimento de açúcar, com média de 17.794,90 kg de açúcar ha⁻¹. Na cana-soca não aconteceu da mesma forma que na cana-planta, pois a irrigação foi altamente significativa (p<0,01); pelo modelo de regressão polinomial linear contido na medida que se aumenta a quantidade total de água recebida pela cultura, o rendimento de açúcar também aumenta e na cana de sequeiro o rendimento de açúcar foi 9.998,71 kg ha⁻¹; quando se irrigou a cana com 125% da ETc, o rendimento de açúcar elevou bastante, sendo este valor 20.821,63 kg ha⁻¹, equivalendo ao incremento de 108,24%; comparando a cana de sequeiro com a irrigação de 125% da ETc, os demais incrementos foram: 4,75%; 25,24%; 48,55% e 78,36%, para a cultura irrigada com 25%, 50%, 75% e 100% da ETc.

6.0 CONCLUSÕES

Houve relação direta entre aplicação da irrigação por gotejamento subsuperficial e ciclo de cultivo, nas variáveis morfológicas da cana-de-açúcar ao longo das fases fenológicas, avaliado por meio de parâmetros de crescimento. Dentro das condições de realização deste trabalho a cana-soca mostrou ter maior dependência de irrigação com relação a cana-planta.

A reposição hídrica e o ciclo influenciaram em todas as fases de cultivo da cana-de-açúcar. Houve dependência entre os fatores para as variáveis altura de planta, diâmetro de colmos, área foliar, número de perfilhos, número de plantas, produtividade de colmos e ATR.

O nitrogênio influenciou a variável altura de planta, diâmetro de colmos e área foliar na fase III, assim como para produtividade de colmos e ATR. Houve interação do nitrogênio com o ciclo nas variáveis altura de planta, área foliar, produtividade de colmos e ATR. Houve interação entre os fatores reposição hídrica, nitrogênio e ciclo para a variável número de entrenós na fase III.

A reposição hídrica apresentou maior efeito para altura de planta, número de plantas e ATR, em condições de cana-soca, e para diâmetro de colmos, área foliar e produtividade de colmos em cana-planta, quando dependente do ciclo, assim como para altura de planta, diâmetro de colmos, número de folhas e número de entrenós em condições de cana-planta e número de perfilhos em cana-soca, quando não dependente do ciclo.

O nitrogênio apresentou maior efeito para altura de planta, diâmetro de colmos, número de folhas e produtividade de colmos, em condições de cana-planta, quando dependente do ciclo. A área foliar apresentou os melhores resultados na condição de cana-planta com nitrogênio aplicado a lanço, e as demais variáveis foram favoráveis a nitrogênio na cana-soca.

Independentemente da fase fenológica, a cana-de-açúcar variedade RB 85-5453 se mostrou responsiva a irrigação, aumentou sua produtividade com o aumento da reposição hídrica.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALMEIDA, A. C. dos S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 05, p. 1441-1448, 2008.

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.

ARANTES, M. T. Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro. 65f. 2012. Dissertação (Mestrado) apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2012.

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

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

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. Palestra no XVI CONIRD. Goiânia-GO. 2007. 11p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3j1wle6b8.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2013.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV. 2006, 625p.

CARDOSO, N. P. Modelagem da maturação da cana-de-açúcar em função de variáveis meteorológicas. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2012. Piracicaba, 2012.

- CARVALHO, C.M. de; AZEVEDO, H.M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. de A.; SILVA, C.T.S. da; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.72 -77, 2009.
- CATTIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F. W.; MAZZUCOTELLI, E.; MASTRANGELO, A. M.; FRANCIA, E.; MARE, C. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, v.105, p.1-14, 2008.
- CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.
- CHAVES, M. M; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, Lisbon, v. 103, n. 01, p. 551-560, 2008.
- CINTRA, J. E. V.; FERREIRA, G. H.; BRASIL, R. P. C. Viabilidade da irrigação suplementar na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) em regiões com déficit hídrico. **Nucleus**, Edição Especial, 2008.
- COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192p. Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2014/2015**. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_14.pdf > Acesso em: 02 jun. 2014.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR - CPCA. Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo -Consecana -. **Manual de instruções**. 5.ed. Piracicaba, 2006. 112p.
- CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n. 4, p. 248 - 257, 2013.
- 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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 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.
- DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, R. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**, Botucatu, Edição especial 01, p. 62-71, 2014.
- 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**, v.10, n.2, p.283–288, 2006.
- DEVOS, K. M. Grass genome organization and evolution. **Curr Opin Plant Biol**. 2010, vol. 13, pp. 139-145.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol – tecnologias e perspectivas. 2 ed. Viçosa: Os Editores, 2012. p. 25-49.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**, Estudos FAO Irrigação e Dren . Série n. 33 , p. 42-53. 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 2006. 306p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 400 p.
- 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.; 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.
- FRASSON, F. R. **Utilização de sensor ótico ativo em cana-de-açúcar**. 76p. 2007. **Dissertação** (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.
- FREITAS, A. S. C.; 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.
- 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. 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.
- 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.
- GONCALVES, E. R. Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. 2008. 66 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.
- 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. **Dissertações** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008.

- GOUVEIA NETO, C. G. Rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar sob suplementação hídrica e parcelamento de nitrogênio. 145p. 2012. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande, 2012.
- HERMANN, E.R. & G.M.S. CÂMARA. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, 17: 32-34, 1999.
- 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.
- INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops research**. Australia, v. 89, p. 107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.
- KARATAS, B.S.; AKKUZU, E.; UNAL, H.B.; ASIK, S.; AVCI, M. Using Satellite remote sensing to asses irrigation performance in water user Associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 96, p.982-990, 2009.
- 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.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- LAMM, F. R.; CAMP, C. C. Subsurface drip irrigation. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. *Microirrigation for crop production: Design, operation, and management*. Amesterdam: **Elsevier**, 2007. 618p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RiMa, p 531, 2004.
- 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.

- LISSON, S. N. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Cambridge, v. 92, p. 321-336, 2005.
- 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.
- MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.
- MAGRO, F. J. TAKAO, CAMARGO, G. P. E. TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Produção de Cana-de-Açúcar. 2011, 18p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. OLIVEIRA, S. C. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, Potafos, 317p. 1997.
- MARAFON, A. C. **Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-açúcar**: uma Introdução ao Procedimento Prático Embrapa Tabuleiros Costeiros Aracaju, SE 2012. 31p.
- MARCUZZO, F. F. N. Sistemas de otimização hidráulica e econômica de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos. 2008, 361 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.
- MASCHIO, R. Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar. 87p. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
- 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.
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, v.12, p.513-522, 1976.

- 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 UFPA, 2006. p. 17-29.
- 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; 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.
- OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHOS, J. C. ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesq. Agropec. Trop.** 37(2): 71-76, jun. 2007.
- OLIVÉRIO, J. L. **Brazilian sugar cane sector – evolution, trends, sustainability**. São Paulo, 2008.
- 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.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.
- PINCELLI, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. 65 f. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.
- PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. IN: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. DE; LANDELL, M. G. DE A. (Eds.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 631-670.
- RIBEIRO, P. A. A; COELHO, R. D; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Engenharia Agrícola**, vol.30, n.2, pp. 279-287, 2010.
- ROSSETTO, R. Maturação da cana-de-açúcar. <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. 10 Out. 2013.
- SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, 1ª Ed., Piracicaba, 415 p., 2006.

- SILVA, M. de 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, p.656-661, 2008.
- 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. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, vol.43, n.3, 2012.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp.* Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95 - 100, 2007.
- SMIT, M. A. & SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Cambridge, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- 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.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 700-719 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719 p.
- 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.
- van GENUCHTEN M.T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **RETEC**, Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils: version 6.02. Riverside: University of California, 2009.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.
- VIEIRA, G. H. S. Uso racional da água na cultura da cana-de-açúcar irrigada no Norte de Minas Gerais. **D.Sc.**, Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012.
- VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 287-293, 2011.

VOMOCIL, J.A.; FLOKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the ASAE**, v.4, p.242-246, 1961.

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