

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

**CRESCIMENTO E RENDIMENTO DA CANA-DE-
AÇÚCAR SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE
ÁGUA POR GOTEJAMENTO**

Autor: Fernando Nobre Cunha
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 -
AGRONOMIA

**CRESCIMENTO E RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR
SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA POR
GOTEJAMENTO**

Autor: Fernando Nobre Cunha
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 Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Agosto – 2014

622.66 Cunha, Fernando Nobre

C942c Crescimento e rendimento da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água por gotejamento / Fernando Nobre Cunha. - 2014.

80f.: graf., 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. 70 - 80.

1. *Saccharum spp.*, produtividade, Latossolo, cerrado.. – 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 – *CAMPUS* RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA**

**CRESCIMENTO E RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR
SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA POR
GOTEJAMENTO**

Autor: Fernando Nobre Cunha
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Co-orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

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

APROVADA em 21 de agosto de 2014.

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

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

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

DEDICATÓRIA

A DEUS, e ao Senhor JESUS, pela vida, saúde e força nos momentos de dificuldades, e por abrir meus olhos, para compreender um pouco mais a respeito do seu vasto propósito para a vida.

A minha família, aos meus pais, Oneide Nobre e Ernane da Silveira, ao meu padrasto José Peixoto de Jesus, por todo amor, conselhos, ajuda e confiança que depositaram em mim, e por apesar dos sacrifícios não desistiram de apoiar à minha educação. A minha irmã Gabriela e ao meu tio Divino José, por estarem sempre ao meu lado, em todas as situações.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos de maneira especial aos amigos, parceiros e colegas de curso Nelmício Furtado da Silva, 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, Valdevino Rodrigues, Fernando Cesar Souza, 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.

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. A 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 sobre tudo 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.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a 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.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Fernando Nobre Cunha, filho de Oneide Nobre da Cunha e Ernane da Silveira Cunha, nasceu no dia 02 de janeiro de 1985, na cidade de Rio Verde, Goiás.

No mês de fevereiro de 2003, iniciou no curso de Tecnologia em produção de grãos no Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, finalizando em dezembro de 2005.

Em agosto de 2008, ingressou no curso de Engenharia Agrônoma 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.....	14
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 A Cultura da Cana-de-açúcar.....	19
3.2 Déficit Hídrico.....	22
3.3 Irrigação na Cultura da Cana-de-açúcar.....	23
3.4 Gotejamento Subsuperficial.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 Características e Localização da Área Experimental.....	26
4.2 Caracterização do Solo.....	27
4.3 Preparo do solo.....	28
4.4 Adubação.....	29
4.5 Curva Característica de Retenção de Água no Solo.....	30
4.6 Implantação do Experimento.....	30
4.7 Delineamento Experimental.....	31
4.8 Sistema de Irrigação.....	31
4.9 Manejo das Lâminas de Irrigação.....	34
4.10 Determinações de Variáveis Morfológicas.....	34
4.11 Rendimento.....	36
4.12 Análise Estatística.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6 CONCLUSÕES.....	69
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,2 e 0,2–0,4 m de profundidade.....	28
Tabela 2.	Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas, área foliar, diâmetro de colmo e número de folhas da cana-de-açúcar em cana-planta submetida a diferentes reposições hídricas.....	38
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para as variáveis número de entrenós, número de perfilhos e de plantas da cana-de-açúcar em cana-planta submetida a diferentes reposições hídricas.....	39
Tabela 4.	Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para o número de folha em cana-planta.....	40
Tabela 5.	Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para o número de entrenós em cana-planta.....	42
Tabela 6.	Resumo do desdobramento de época de avaliação dentro de cada nível de reposição hídrica, para o número de folhas e de entrenós da cana-de-açúcar em cana-planta.....	46
Tabela 7.	Resumo da análise de variância para altura de plantas, área foliar, diâmetro do colmo e número de folhas da cana-de-açúcar (cana-soca) submetida a diferentes reposições hídricas.....	51
Tabela 8.	Resumo da análise de variância para número de entrenós, de perfilhos e de plantas da cana-de-açúcar (cana soca) submetida a diferentes reposições hídricas.....	51
Tabela 9.	Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para altura de planta (cana-soca).....	52
Tabela 10.	Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação para área foliar (cana-soca).....	53
Tabela 11	Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para número de perfilho e de planta (cana-soca).....	57
Tabela 12	Resumo do desdobramento de época de avaliação dentro de cada nível de reposição hídrica, para altura de plantas, área foliar, número de perfilhos e de plantas (cana-soca).....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Balanço hídrico decenal do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (cana-planta/2011-12).....	26
Figura 2.	Balanço hídrico decenal do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (cana-soca/2012-13).....	27
Figura 3.	Calagem e preparo do solo da área experimental.....	29
Figura 4.	Preparo dos sulcos para plantio em fila dupla na área experimental.....	29
Figura 5.	Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica.....	31
Figura 6.	Foto do experimento implantado no campo.....	31
Figura 7.	Fotos do conjunto motobomba e do cabeçal de controle do sistema de irrigação.....	32
Figura 8.	Foto do dispositivo para monitoramento de vazão nos tubos gotejadores.....	32
Figura 9.	Foto da área útil e das três plantas demarcadas no centro de cada parcela experimental.....	36
Figura 10.	Altura de plantas em função da reposição hídrica para cana-planta.....	39
Figura 11.	Área foliar em função da reposição hídrica para cana-planta.....	40
Figura 12.	Número de folhas em função da reposição hídrica para cana-planta.....	41
Figura 13.	Número de entrenós em função da reposição hídrica para a cana-planta	43
Figura 14.	Altura de plantas em função da época de avaliação para cana-planta.....	44
Figura 15.	Área foliar em função da época de avaliação para cana-planta.....	44
Figura 16.	Diâmetro do colmo em função da época de avaliação para cana-planta.	45
Figura 17.	Número de folhas em função da época de avaliação para a cana-planta.	47
Figura 18.	Número de entrenós em função da época de avaliação para a cana-planta.....	48
Figura 19.	Número de perfilhos em função da época de avaliação para cana-planta.....	49
Figura 20.	Número de plantas em função da época de avaliação para cana-planta.....	50
Figura 21.	Altura de plantas em função da reposição hídrica para cana-soca.....	53
Figura 22.	Área foliar em função da reposição hídrica para cana-soca.....	54

Figura 23.	Diâmetro do colmo em função da reposição hídrica para cana-soca.....	55
Figura 24.	Número de folhas em função da reposição hídrica para cana-soca.....	56
Figura 25.	Número de entrenós em função da reposição hídrica para cana-soca....	56
Figura 26.	Número de perfilhos em função da reposição hídrica para cana-soca....	58
Figura 27.	Número de plantas em função da reposição hídrica para cana-soca.....	59
Figura 28.	Altura de plantas em função da época de avaliação para cana-soca.....	60
Figura 29.	Área foliar em função da época de avaliação para cana-soca.....	61
Figura 30.	Diâmetro do colmo em função da época de avaliação para cana-soca....	62
Figura 31.	Número de folhas em função da época de avaliação para cana-soca.....	63
Figura 32.	Número de entrenós em função da época de avaliação para cana-soca..	64
Figura 33.	Número de perfilhos em função da época de avaliação para cana-soca..	65
Figura 34.	Número de plantas em função da época de avaliação para cana-soca....	66
Figura 35.	Rendimento bruto de açúcar em função da reposição hídrica para cana-planta e cana-soca.....	67
Figura 36.	Rendimento bruto de álcool em função da reposição hídrica para cana-planta e cana-soca.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

A.....	Área da parcela irrigada (m ²)
AF.....	Área Foliar (cm ²)
Al.....	Alumínio (mmol dm ⁻³)
AP.....	Altura de planta (cm)
ARL.....	Açúcares redutores livres (%)
b.u.....	base úmida
C.....	Comprimento da folha +3
Ca.....	Cálcio (mmol dm ⁻³)
CTC.....	Capacidade de troca de cátions
CV.....	Coefficiente de variação (%)
DAC	Dias após o corte
DAP.....	Dias após o plantio
DC	Diâmetro de colmo (mm)
Dp.....	Densidade de partículas
Ds.....	Densidade do solo (g cm ⁻³)
EUA.....	Eficiência de uso da água (mm Mg ⁻¹ ha ⁻¹)
F.....	Fator de transformação estequiométrica de sacarose
Fg.....	Fator de Gay Lussac
H.....	Hidrogênio (mmol dm ⁻³)
IGS.....	Gotejamento subsuperficial
K.....	Potássio (mmol dm ⁻³)
L.....	Largura da folha +3;
LA.....	Lâmina aplicada durante o experimento
LL.....	Lâmina a ser aplicada (mm)
Mg.....	Magnésio (mmol dm ⁻³)
MO.....	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)
N.....	Número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde
NE.....	Número de entrenós
NF.....	Número de folhas
NP.....	Número de perfilhos
NPI.....	Número de perfilhos industrializáveis
NPL.....	Número de plantas

P.....	Fósforo (mg dm^{-3})
PC.....	Produção de colmos (kg ha^{-1})
PCC.....	Quantidade de açúcar bruto (%)
PCH.....	Produtividade de colmos/hectare (Mg ha^{-1})
PE.....	Precipitação efetiva
PT.....	Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
\bar{q}	Vazão média dos gotejadores (L h^{-1})
Q.....	Vazão do sistema ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)
$q_{25\%}$	vazão média de $\frac{1}{4}$ dos menores valores (L h^{-1})
$q_{\text{média}}$	Vazão média (L h^{-1})
RA.....	Rendimento bruto de álcool ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
RA.....	Rendimento de álcool bruto em litro por tonelada de cana
RAç.....	Rendimento bruto de açúcar (ton ha^{-1})
RAç.....	Rendimento em açúcar em (kg ha^{-1})
RH.....	Reposição hídrica
RPF.....	Razão de Peso Foliar (g g^{-1})
S.....	Enxofre (mmol dm^{-3})
s.....	Desvio padrão da vazão dos gotejadores (L h^{-1})
TCR.....	Taxa de Crescimento Relativo ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$)
UD.....	Uniformidade de distribuição (%)
V.....	Saturação por bases (%)
VTA.....	Volume total de água aplicado pela irrigação
Z.....	Profundidade do solo (cm)
θ	Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_{CC}	Capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_{PMP}	Ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_r	Umidade volumétrica residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
θ_s	Umidade volumétrica na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

RESUMO

CUNHA, Fernando Nobre. **Crescimento e rendimento da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água por gotejamento**. 2014. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO.

A cana-de-açúcar, em função de ser uma cultura bastante importante e de grande expressão econômica, torna-se relevante a compreensão das características morfológicas, qualitativas e quantitativas, em detrimento a reposição hídrica, em irrigação localizada subsuperficial, com intuito de potencializar a produtividade e o rendimento. O objetivo com este trabalho é avaliar os índices biométricos ao longo do ciclo (cana-planta e cana-soca) o rendimento de açúcar do álcool da cana-de-açúcar submetida aos diferentes regimes hídricos via gotejamento subsuperficial. 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. Foram implantadas parcelas experimentais, constituídas de três sulcos de linha dupla, 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. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso analisado em esquema de parcelas subdivididas 5 x 9, com quatro repetições, e as parcelas eram compostas por cinco lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100% de reposição hídrica) e as subparcelas 9 épocas de avaliações (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após o plantio/corte). A reposição hídrica (RH) foi significativa para altura de planta, área foliar e para o número de entrenós em cana-planta, enquanto para cana-soca a RH foi significativa para altura de planta, área foliar, diâmetro de colmo, de folhas, de perfilhos, de plantas e para o número de entrenós; já para as épocas de avaliações houve efeito significativo tanto para cana-planta quanto para cana-soca, para todas as variáveis analisadas. O rendimento bruto de açúcar e álcool para as reposições hídricas inferiores a 93 e 97%, demonstraram valores de rendimento maiores em cana-planta que em cana-soca, tornando essa diferença mais expressiva com o decréscimo na reposição hídrica.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, produtividade, Latossolo, cerrado.

ABSTRACT

CUNHA, Fernando Nobre. **Growth and yield of cane sugar under different levels of water drip**. 2014. 76p. Dissertation (Master in Agricultural Sciences - Agronomy) Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO.

The sugarcane due to be a very important and significant economic culture, becomes important to understand the characteristics morphological, qualitative and quantitative, in detriment of water replacement in drip irrigation subsurface, in order to enhance productivity and sugarcane yield. The aim of this work is to evaluate biometrics indexes throughout the cycle (plant cane and ratoon) and the yield of sugar and ethanol from sugarcane sugar under different water regimes by subsurface drip. The experiment was conducted under field conditions, from March 2011 to May 2012 (plant cane) and from June 2012 to June 2013 (ratoon), in Goiano Federal Institute experimental station - Campus Rio Verde - GO. Experimental plots consisting of three grooves with double line spacing of 0.40 m between rows and 1.80 m between rows of drip and 8 feet long were implanted, totaling 52.8 m² of total area per plot, using the variety RB 85-5453. The experimental design was a randomized complete block in a split plot analysis 5 x 9 with four replications, where the plots were composed of five irrigation levels (0, 25, 50, 75 and 100% water replacement) and 9 assessment times (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 and 330 days after planting / cutting). Water replacement (WR) was significant for plant height, leaf area and the number of internodes in plant cane, while for ratoon WR was significant for plant height, leaf area, diameter of stem, leaf of tillers, plant and number of internodes; already for assessment times there were no significant effects for both plant cane and for ratoon, for all variables. The gross yield of sugar and alcohol to the water replacements below 93 and 97% showed values higher yield on plant cane than in ratoon, making this difference the most significant with the decrease in fluid replacement.

Key words: *Saccharum spp*, productivity, Latosoil,

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com aproximadamente 33% de todo o montante produzido no mundo (JADOSKI et al., 2010), o Brasil também é o maior produtor mundial de colmos e de cristais de sacarose, sendo o estado de São Paulo responsável por 61 e 63% do total, respectivamente (UNICA, 2010).

A área cultivada com cana-de-açúcar que será destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 está estimada em 8.799.150 mil hectares. O estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 51,31% (4.515.360 hectares) da área plantada, seguido por Minas Gerais com 8,0% (781.920 hectares) e Goiás com 9,3% (818.390 hectares), nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 7%. A produção de açúcar na safra de 2012/13, foi de 38,34 milhões de toneladas, à medida que a produção de etanol foi de aproximadamente 23,64 bilhões de litros (CONAB, 2013).

O cultivo da cana-de-açúcar está em expansão na agricultura brasileira. Isso se deve principalmente ao aumento da demanda mundial de biocombustível renovável e de açúcar (QUINTANA, 2010).

A importância social e econômica da cana-de-açúcar, deste modo se mostra principalmente na produção de álcool (para uso combustível, farmacêutico, etc.) e açúcar, bem como na geração de empregos diretos e indiretos, sendo utilizada também na produção de caldo de cana, melaço, rapadura, aguardente e forragem para alimentação animal (SEBRAE, 2007).

No Brasil, embora o cultivo da cana-de-açúcar se concentre nas regiões Sudeste e Nordeste, a produção se desloca preferencialmente para a Região Centro-Oeste do país, notadamente nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul (VIEIRA JUNIOR et al., 2008). No estado de Goiás a expansão na última década foi maior que 300%, expansão esta que se deu para áreas marginais com relação a disponibilidade hídrica e fertilidade.

A cana-de-açúcar é cultivada em diferentes tipos de solos, sob influência de diversos fatores abióticos peculiares a cada região, evidenciando distintos níveis de produção (MAULE et al., 2001).

Entre os diversos fatores abióticos, a deficiência hídrica deve ser destacada, pelos efeitos prejudiciais causados no desenvolvimento das plantas (VITORELLO et al., 2005). Como a água é limitante para o crescimento e fundamental para a fotossíntese, a

produtividade das plantas depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência de seu uso pelo vegetal. Assim sendo, a disponibilidade hídrica do solo é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar, que necessita de grandes quantidades de água, uma vez que somente 30% do peso se constituem de massa seca e 70% de água, dependendo do estágio fenológico (RHEIN, 2012).

Além disso, a condição hídrica adequada determina o estabelecimento da cultura durante o estágio vegetativo, principalmente, nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos, entretanto, deve ser restrita no período de maturação, a fim de contribuir para o enriquecimento da sacarose (ALFONSI et al., 1987; SILVA et al., 2010; RHEIN, 2012); conseqüentemente a deficiência hídrica durante a fase de perfilhamento e início do alongamento dos colmos pode influenciar a produção da cana-de-açúcar e resultar em expressiva redução do rendimento de colmos e de açúcar (RAMESH, 2000; INMAN -BAMBER, 2004; SILVA et al., 2010).

A cana-de-açúcar em função de ser uma cultura bastante importante e de grande expressão econômica, tornando relevante a compreensão das características morfológicas, qualitativas e quantitativas, em detrimento a reposição hídrica, em irrigação localizada subsuperficial, com intuito de potencializar a produtividade e o rendimento da cultura.

Quanto ao que foi exposto, a seguinte hipótese pode ser levantada: a reposição hídrica influencia as variáveis morfológica ao longo do tempo, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar, e proporciona o aumento do rendimento de açúcar e de álcool.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os índices biométricos ao longo do ciclo (cana-planta e cana-soca) e o rendimento de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar submetida aos diferentes regimes hídricos via gotejamento subsuperficial.

2.2 Objetivos específicos

Determinar o melhor regime hídrico que proporcione o maior desenvolvimento (altura de planta, área foliar, diâmetro de colmo, número de entrenós, número de folhas, número de perfilhos e número de plantas) da cana-de-açúcar.

Identificar o melhor regime hídrico que proporcione o maior rendimento de açúcar e álcool.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é cultivada em pequenas, médias e grandes propriedades, sendo por isto de grande importância socioeconômica. Geralmente o seu uso em pequenas propriedades é para alimentação humana e animal, enquanto a produção das médias e grandes lavouras se destina a fabricação de açúcar e álcool (COSTA, 2001; FREIRE, 2001; OLIVEIRA et al., 2002, 2004; GOMES, 2003).

A cultura da cana-de-açúcar apresenta grande importância no agronegócio brasileiro, representando a indústria sucroalcooleira cerca de 2% das exportações nacionais, além de reunir 6% dos empregos agroindustriais brasileiros e contribuir de maneira efetiva para o crescimento do mercado interno de bens de consumo (BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; UNICA, 2008). O complexo sucroalcooleiro ocupa, e sempre ocupou lugar de destaque no agronegócio brasileiro, produzindo açúcar e álcool combustível, além de inúmeros outros produtos de significativo destaque na economia nacional (DIAS NETO, 2000).

A relevância da cana-de-açúcar no agronegócio brasileiro é indiscutível e, apesar do país se destacar no cenário internacional por toda a tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a indústria (COSTA et al., 2007).

O agronegócio da cana-de-açúcar brasileira é uma atividade responsável por promover o desenvolvimento econômico de grande número de municípios, por contribuir para o emprego de trabalhadores nas áreas rurais e por apresentar enorme capacidade de agregação de valor a produção. Além disso, é considerada a matéria-prima mais favorável para a produção do biocombustível, pois tem potencial para redução de 70 a 90 % ou mais dos gases de efeito estufa (NGUYEN et al., 2007).

Com a crescente demanda, atualmente, por recursos energéticos substitutos do petróleo, a cultura canavieira está em plena expansão no Brasil, rumo a regiões de marcantes déficits hídricos em algumas épocas do ano, como Goiás, Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul e oeste do estado de São Paulo (GUIMARÃES, 2011). A cana-de-açúcar é cultivada em áreas subtropicais, entre 15° e 30° de latitude, podendo se estender até 35° de latitude tanto norte quanto sul, sendo produzida comercialmente em mais de 70 países e territórios (LIMA, 2008).

Dentre os fatores que afetam o rendimento dos canaviais podem ser citados: a deficiência hídrica, o plantio de variedades ultrapassadas, a baixa renovação das lavouras e a ocorrência de doenças e pragas (ANUÁRIO DA CANA, 2007). Nesse sentido a variedade RB 85 5453 apresenta as seguintes características agroindustriais: produtividade média, maturação precoce, boa brotação de soqueira, média exigência em solos, não apresenta tombamento, florescimento intenso, alto teor de sacarose e teor médio de fibra; sendo resistência as seguintes doenças: carvão, escaldadura das folhas, mosaico e podridão vermelha (LIMA, 2008).

Para Carlin et al. (2004), uma das características de maior importância para se ter uma boa produtividade final, ou bom estande de mudas, está relacionada com as práticas de plantio, levando em consideração fatores indispensáveis na otimização da cultura.

Trabalhando com dois espaçamentos simples e dois duplos na cana-de-açúcar, Gaddanakeri et al. (2007) determinaram que o espaçamento 0,9 m resultou em produção equivalente aos espaçamentos duplos, 1,5 m x 0,75 m e 1,8 m x 0,9 m, e foi superior ao espaçamento 1,5 m. Os autores sugeriram ainda que o espaçamento duplo proporcionaria vantagem no aproveitamento da instalação de sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.

A cana-de-açúcar pode atingir de 2 a 5 metros de altura, e apresentar diferentes tonalidades de cor. É composta principalmente por água e açúcares que se concentram nos colmos, sendo a sacarose o carboidrato predominante. O colmo tem forma cilíndrica, de diâmetro e comprimento variado, fibroso e com teor de açúcar variando principalmente em decorrência de fatores hídricos e térmicos. É constituído por nós e entrenós, ocorrendo o maior acúmulo da sacarose nos entrenós (QUINTANA, 2010). A composição química da cana é bastante variável quanto à proporção dos elementos; porém, quantitativa e qualitativamente, exhibe regularidades em todas as variedades. (SCHLITTLER, 2006).

De forma geral, a planta é constituída de um sistema radicular, dos colmos, em que a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana, nos nódulos intercolmos e também na parte superior da planta em que se localiza a gema apical (palmito) (MANTELATTO, 2005).

Por ser uma cultura semiperene e com ciclo de cinco a sete anos, o seu sistema radicular se desenvolve em maior profundidade. Este fator, por sua vez, está correlacionado com a produtividade alcançada, principalmente em solos de baixa fertilidade e com menor capacidade de retenção de umidade (STAUT, 2006). A planta

apresenta sistema radicular do tipo fasciculado, 85% localizado nos primeiros 50 centímetros. A matéria seca radicular e da parte aérea se distribuem em função das condições ambientais (MACHADO, 1987; MOZAMBANI et. al., 2006).

Um fator significativo que deve ser destacado, visto que influencia na produtividade das culturas, é a disponibilidade de água e de nutrientes; além da disponibilidade dos nutrientes do solo e água, é atribuído ao pH, importância relevante no crescimento de raízes, de tal modo as propriedades físicas do solo são associadas ao adequado crescimento das raízes das plantas, no entanto, devem estar associadas propriedades químicas do solo. Fator que pode limitar crescimento de raiz e desenvolvimento das plantas cultivadas (BUENO JUNIOR, 2008; HERNANDEZ, 2010).

Por causa de sua rusticidade, a cana-de-açúcar apresenta alta capacidade de adaptação às diferentes condições de solo. Entretanto, deve ser evitado o plantio em solos rasos, com profundidade menor que um metro, solos mal drenados, que têm grande tendência de encharcamento, solos excessivamente argilosos, solos excessivamente arenosos e com baixa retenção de água e onde os nutrientes são facilmente lixiviados. Também não é recomendável plantio em solos cuja declividade seja maior que 15% (SEBRAE, 2007).

A avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, que pode auxiliar na seleção das práticas culturais, como a escolha das melhores épocas de colheita e de plantio (LARCHER, 2004; SILVA et al., 2010). A qualidade no plantio de cana-de-açúcar pode influenciar em algumas características ou aspectos agronômicos da cultura, dentre os quais tem maior destaque a brotação e o perfilhamento (PESSAN & SCARTOZZONI, 2012).

Dos diversos investimentos passíveis de serem realizados na produção da cana-de-açúcar visando aumentar seu rendimento, a irrigação merece destaque, podendo aumentar a produção (DALRI et al., 2008; DALRI & CRUZ, 2002 e 2008; MATTIOLI et al., 1998), sem necessidade de expansão da área agrícola. É necessária a adaptação desse sistema de irrigação para as condições de clima, solo, tratos culturais, mecanização e mão de obra utilizada no Brasil, assim como conhecer a adaptabilidade e o comportamento da cultura em resposta ao seu uso (QUINTANA, 2010).

3.2 Déficit hídrico

A cana-de-açúcar necessita de elevada disponibilidade de água, durante o estágio vegetativo, a fim de apresentar rendimento adequado, sendo necessários 130 a 150 litros de água para a produção de 1 kg de massa seca (CASTRO, 2000).

Pequena redução do potencial de água no solo afeta a divisão e o alongamento celular em cana-de-açúcar, tal fato reduz o acúmulo de matéria seca, conseqüentemente, a taxa de crescimento e o índice de área foliar (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER & SMITH, 2005); o déficit hídrico conseqüentemente afeta vários aspectos do crescimento vegetal, os efeitos mais óbvios do estresse hídrico se referem a redução do tamanho das plantas, de sua área foliar e da produtividade da cultura (KRAMER, 1983; TAIZ & ZEIGER, 2002).

A deficiência hídrica na fase inicial afeta o rendimento da cana-de-açúcar, reduzindo o tamanho das plantas, em geral, e algumas variáveis como a produção de perfilhos, número, altura e diâmetro de colmos industrializáveis, área foliar e finalmente o peso individual dos colmos (ROBERTSON et al., 1999; RAO et al., 2005).

A redução da disponibilidade de água também pode promover alterações no número de folhas verdes; no comprimento e na largura das folhas; na área foliar e massa foliar específica; e alterações no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes (PINCELLI, 2010).

Comprovadamente, algumas pesquisas revelaram que, em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, a maior produtividade foi obtida nos cultivares que mantiveram os melhores resultados nesses atributos biométricos (SILVA et al., 2008).

ROSENFELD (1989), estudando o período crítico de deficiência hídrica para cana-planta cultivada na região Centro-Sul, concluiu que o início do estágio de máximo desenvolvimento é o período mais sensível a déficit hídrico. Para cana plantada de fevereiro a junho, o período mais crítico é do 4º ao 8º mês de idade; já para a cana plantada em outubro, o período mais crítico é do 8º ao 11º mês (QUINTANA, 2010).

Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios promovidos pela deficiência hídrica, constituindo, portanto, em mecanismos de tolerância à seca (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; TAIZ & ZEIGER, 2009). Também, tais características morfofisiológicas modificadas pela deficiência hídrica são

consideradas de grande importância para se obter elevada produtividade vegetal (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; GHANNOUM, 2008).

3.3 Irrigação na Cultura da Cana-de-açúcar

Os problemas causados pela diminuição da disponibilidade hídrica do solo são comuns nos canaviais, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento, deste modo o manejo de água adequado e estratégico durante todo o ciclo da cana-de-açúcar se torna aspecto de grande importância para auxiliar no planejamento da produção, determinar a adoção de sistemas de irrigação e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do uso da água no sistema de produção (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; DANTAS NETO et al., 2006).

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as tensões de água no solo, recomendadas para cada período do ciclo fenológico, entretanto, precipitações pluviais anuais a partir de 1000 mm, adequadamente distribuídos, são suficientes para obter elevada produção da cultura. (DOOREMBOS & KASSAM, 1979; INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; DANTAS NETO et al., 2006).

O uso de irrigação para atenuar o efeito da escassez de água na produção de cana-de-açúcar é uma alternativa ainda pouco utilizada nos países produtores (INMAN-BAMBER, 2004). Com o uso de irrigação, a época de plantio pode ser estendida para os demais meses do ano (COLETI & STUPIELLO, 2006).

Também, trata-se de importante ferramenta para o aumento da produtividade da cultura, de forma que a frequência, a quantidade, a uniformidade e a eficiência da irrigação, juntamente com a precipitação, são variáveis que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cana-de-açúcar (DANTAS NETO et al., 2006).

A irrigação, promove a sustentabilidade econômica, social e ambiental além de proporcionar incremento na produtividade das culturas (maiores que 100%) (SALASSIER, 2006; DALRI et al., 2008).

3.4 Gotejamento Subsuperficial

A técnica de irrigação por gotejamento surgiu em Israel, principalmente em razão da escassez de recursos hídricos (MANFRINATO, 1985).

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é definido por Azevedo (1986) e Keller & Bliessner (1990) como o tipo de sistema de irrigação que tem o solo como meio de propagação da água, no qual os emissores ficam sob a superfície do solo e dentro da camada que representa a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas.

O principal objetivo buscado é maximizar a eficiência do uso da água e a maior difusão do gotejamento subsuperficial tem ocorrido nas regiões em que o solo tem grande escassez de água, e também em locais sob condições climáticas determinantes de grande evapotranspiração, como o oeste dos EUA e Israel (JUAN, 2000).

A irrigação por gotejamento subsuperficial, técnica que promove o uso mais eficiente da água, caracteriza-se pela utilização localizada de água diretamente na zona radicular da cultura e, portanto, pela elevada uniformidade de aplicação do recurso hídrico (BARBOSA et al., 2012).

A profundidade ideal para instalação da linha lateral, depende de vários fatores, especialmente das características físicas, hídricas e químicas do solo. Assim, solos profundos, férteis e com alta condutividade hidráulica não saturada permitem maiores profundidades de instalação da lateral (MAROUELLI & SILVA, 2002). Em termos de projeto hidráulico, o sistema subsuperficial difere do sistema superficial no cuidado para evitar o succionamento de partículas do solo e da intrusão radicular no sistema (QUINTANA, 2010).

Dentre os métodos de irrigação possíveis de utilização na cultura da cana-de-açúcar, tem-se destacado, a irrigação localizada, principalmente, o gotejamento subsuperficial, que garante melhor desenvolvimento (FARIAS et al., 2008), maior produção (GAVA et al., 2010) e com um produto de melhor qualidade (DALRI & CRUZ, 2008).

O sistema de irrigação por subsuperfície conseqüentemente apresenta vantagens, sendo o sistema que garante melhor uniformização e eficiência na aplicação da água (maior economia), custos de manutenção são baixos, influência nula de vento, permite o fluxo da água às raízes das mudas por capilaridade, com tempo mínimo considerado para que a água chegue à superfície do recipiente, que irá variar com a altura da coluna de água e o estágio de desenvolvimento da planta, entre espécies e época do ano (microclima) (LOPES, 2008).

As principais vantagens do sistema também foram apresentadas por ORON et al. (1991) e BAR-YOSEF et al. (1989): redução de perdas por evaporação; reduzida geração

de escoamento superficial; flexibilidade do uso de maquinário agrícola; maior dificuldade na germinação de sementes de plantas invasoras, uma vez que o solo se mantém menos úmido na superfície; maior disponibilidade de nutrientes, uma vez que o ponto de emissão se encontra mais próximo das raízes.

Gornat & Nogueira (2003) comentam que, com relação às tubulações e conexões, os principais problemas na irrigação localizada se relacionam ao corte ou desligamento provocado por instrumentos de trabalho manuais ou mecanizados usados nos tratos culturais. No sistema de gotejamento subsuperficial, esse tipo de problema praticamente não ocorre pois as linhas de gotejadores estão enterradas. Uma desvantagem do sistema foi apontado por ORON et al. (1991) como sendo a dificuldade na detecção de problemas de entupimento de emissores.

O rendimento e a produção de açúcar e de etanol da cana-de-açúcar irrigada dependem da quantidade de água aplicada, do manejo de irrigação associado à quantidade adequada de adubos, da variedade, da idade do corte, do tipo de solo e do clima (RHEIN, 2012). A irrigação por gotejamento subsuperficial pode ser utilizada além da cana-de-açúcar em diversas culturas, tais como algodão, melão, batata e numerosas hortaliças, comprovando que aumenta a produção e a qualidade, diminui os custos de produção e se adapta bem a ampla variedade de climas e solos (BUCKS et al., 1981; DASBERG & BRESLER, 1985; JUAN, 2000).

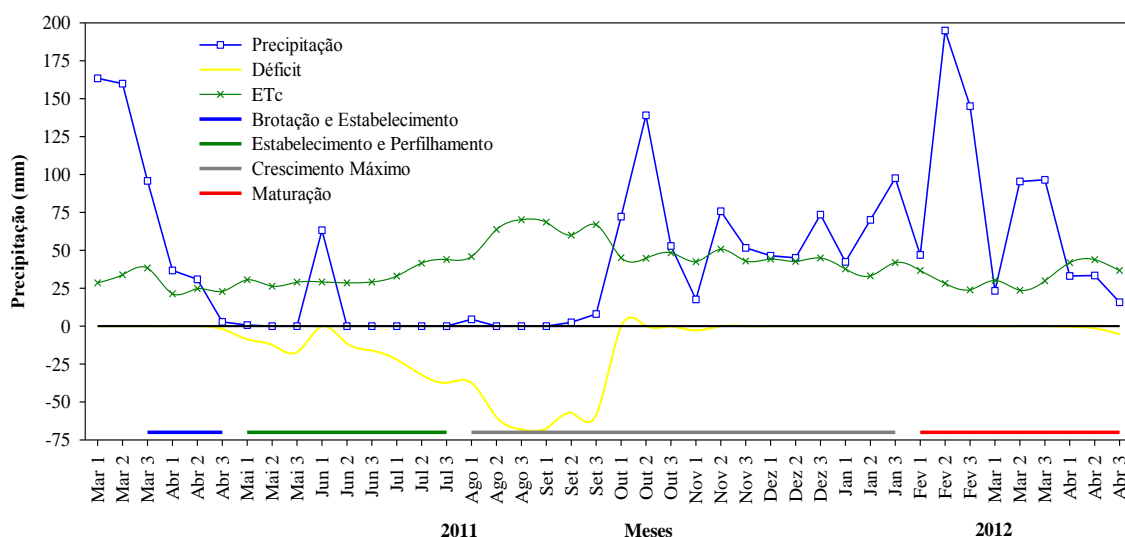
É característica do sistema de irrigação por gotejamento de maneira geral, a alta eficiência na aplicação de água, o menor consumo de energia em razão da baixa pressão de serviço e a facilidade no uso da fertirrigação, já que o sistema é fixo, de alta eficiência e com aplicação da água diretamente na zona radicular da cultura (QUINTANA, 2010).

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.

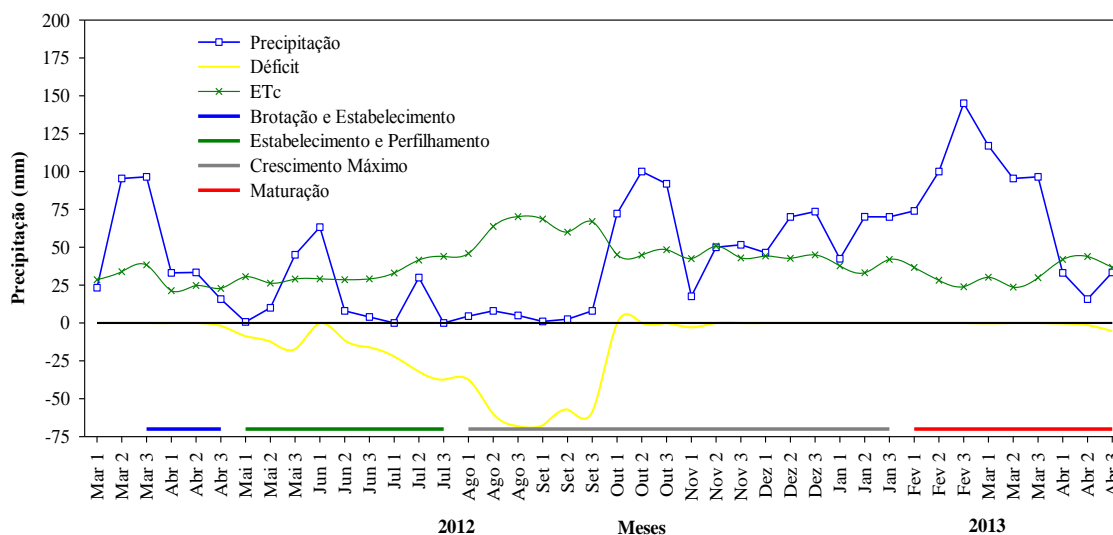


Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde.

Figura 1. Balanço hídrico decenal do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (cana-planta/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 (319,1mm), conforme Figura 2.



Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde.

Figura 2. Balanço hídrico decenal do município de Rio Verde no período decorrente do experimento (cana-soca/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 foram 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 (D_p) foi determinada utilizando água destilada e eliminação a 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 (D_s) e densidade de partículas (D_p), através da equação proposta por Vomocil (1961), conforme equação 3:

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

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} --- m ³ m ⁻³ ---	θ_{PMP} ---	Ds g cm ⁻³	PT cm ³ cm ⁻³	Classificação textural			
	Areia	Silte	Argila								
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 H ₂ O	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	CTC	V (%)
0,00–0,20	6,2	63,42	7,06	2,04	20,40	16,80	0,0	57,75	41,80	99,55	41,99
0,20–0,40	6,6	44,47	2,65	4,09	14,40	13,20	0,0	44,55	31,69	76,24	41,57

* θ_{CC} , capacidade de campo (10KPa); θ_{PMP} , ponto de murcha permanente (1.500 KPa); Ds, densidade do solo; PT, porosidade total; pH em água destilada. P e K, extrator Mehlich¹. 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 (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, utilizou-se 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, potássio e nitrogênio, segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004); os 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 quais foram aplicados no sulco de plantio.

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 1500 kPa nos aparelhos extratores de Richards (EMBRAPA, 1997).

Após realização das análises, a curva característica de água no solo foi obtida, ajustando-se 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-se a equação de van Genuchten (1980) utilizando o programa RETEC v. 6.02 (van GENUCHTEN, 2009), conforme equação 2:

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

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”) (Figura 5) com espaçamento de 0,40 m entre sulcos e 1,80 m entre linhas de gotejo e 8 metros de comprimento, totalizando $52,8 \text{ m}^2$ de área total por parcela, sendo cultivada a variedade RB 85-5453 (Figura 6).

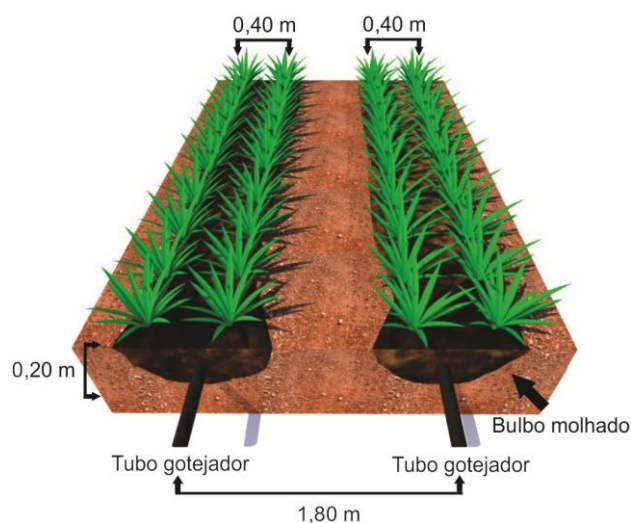


Figura 5. Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica (BATISTA & TEIXEIRA, 2013).



Figura 6. Foto do experimento implantado no campo.

4.7 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso analisado em esquema de parcelas subdividas 5 x 9, com quatro repetições, e as parcelas eram compostas por cinco lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo) e as subparcelas 9 épocas de avaliações (90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após o plantio/corte).

4.8 Sistema de Irrigação

A captação foi realizada em um represamento, distante 300 metros da área. O cabeçal de controle da irrigação foi instalado na porção mediana da área experimental, composto de filtro, hidrômetro, manômetro, registros e válvulas anti-vácuo. Os registros, no total de 8, liberam a água para os tratamentos irrigados, separando-os conforme lâmina

a ser aplicada. Dos registros saem as tubulações de PVC em que foram conectadas as linhas laterais (Figura 7).



Figura 7. 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 apresenta 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 foi composto por um recipiente de PVC com dimensões de 0,1 m x 0,25 m (Figura 8).



Figura 8. 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.

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

em que:

CV_q – coeficiente de variação da vazão, %;

s – desvio padrão da vazão dos gotejadores, L h⁻¹;

\bar{q} – vazão média dos gotejadores, L h⁻¹.

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

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, 40, 60 e 80 cm e distantes a 15 cm de um gotejador, implantados nas parcelas irrigadas, na reposição hídrica de 100%. Para instalação dos tensiômetros foi utilizado um trado de rosca, com diâmetro correspondente ao das hastes tensiométricas. A leitura dos tensiômetros foi iniciada após 15 dias da instalação. Foi implantado três repetições de baterias tensiométricas, cada uma contendo quatro tensiômetros em cada profundidade para um monitoramento de maior precisão. As leituras foram realizadas diariamente, e foi considerado o limite de 40 kPa para a realização das irrigações proporcionais a cada tratamento.

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

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

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

em que:

LL - lâmina a ser aplicada (mm);

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

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

Z - profundidade do solo (cm);

A - área da parcela irrigada;

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

4.10 Determinações das Variáveis Morfológicas

As características morfológicas foram avaliadas mensalmente nas linhas centrais de cada parcela, quantificando-se: altura de planta (AP); diâmetro de colmo (DC); número de folhas (NF); área foliar (AF); número de entrenós (NE); número de perfilhos (NP) e número de plantas (NPL).

A altura da planta foi mensurada com auxílio de uma 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 de um 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 perfilhos foi determinado a partir da contagem de todas as plantas que continham menos de seis folhas completamente expandidas; 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 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 9.



Figura 9. Foto da área útil e das três plantas demarcadas no centro de cada parcela experimental.

4.11 Rendimento

Os rendimentos brutos de açúcar e de álcool foram calculados utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado por análise tecnológica do caldo, pela amostragem de 10 colmos por tratamento, foram calculados de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998):

$$RA_{\zeta} = \left(\frac{PCC * PC}{100} \right) \quad (9)$$

em que:

RA $_{\zeta}$ - rendimento em açúcar em kg ha⁻¹;

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

PC - produção de colmos em kg ha⁻¹.

$$RA = ((PCC * F) + ARL) * Fg * 10 * PC \quad (10)$$

em que:

RA - rendimento de álcool bruto em litro por tonelada de cana;

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

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

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

Fg - fator de Gay Lussac igual a 0,6475;

PC - produção de colmos em $t\ ha^{-1}$.

4.12 Análise Estatística

Os resultados das variáveis biométricas e do rendimento bruto de açúcar e de álcool obtidos em cana-planta e cana-soca 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 para os níveis de reposição hídrica e para as épocas de avaliações, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reposição hídrica (RH) em cana-planta foi significativa ao nível de 1% de probabilidade para altura de planta e área foliar. Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade, em relação as época de avaliação em cana-planta para altura de planta, área foliar, diâmetro de colmo e número de folhas. Para cana-planta a interação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, para o número de folhas (Tabela 2). Dantas Neto et al. (2006) também observaram efeito significativo em muitas destas variáveis morfológicas em função da disponibilidade hídrica.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas, área foliar, diâmetro de colmo e número de folhas da cana-de-açúcar em cana-planta submetida a diferentes reposições hídricas.

FV	GL	QM			
		AP	AF	DC	NF
Bloco	3	349,14 ^{ns}	2363,62 ^{ns}	33,47 ^{ns}	0,53 ^{ns}
RH	4	3277,72 ^{**}	32119,79 ^{**}	37,33 ^{ns}	1,94 ^{ns}
Resíduo (a)	12	326,37	3101,55	16,80	0,76
Época	8	389363,1 ^{**}	1267670,57 ^{**}	901,95 ^{**}	61,14 ^{**}
RH*Época	32	125,93 ^{ns}	776,08 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,64 [*]
Resíduo (b)	120	96,75	719,92	2,34	0,41
CV1		12,42	12,10	13,58	9,58
CV2		6,76	5,83	5,06	7,06

¹Altura de planta (AP), área foliar (AF), diâmetro de colmo (DC) e número de folhas (NF) da cana-de-açúcar; Reposição hídrica (RH); Época de avaliação (Época); Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

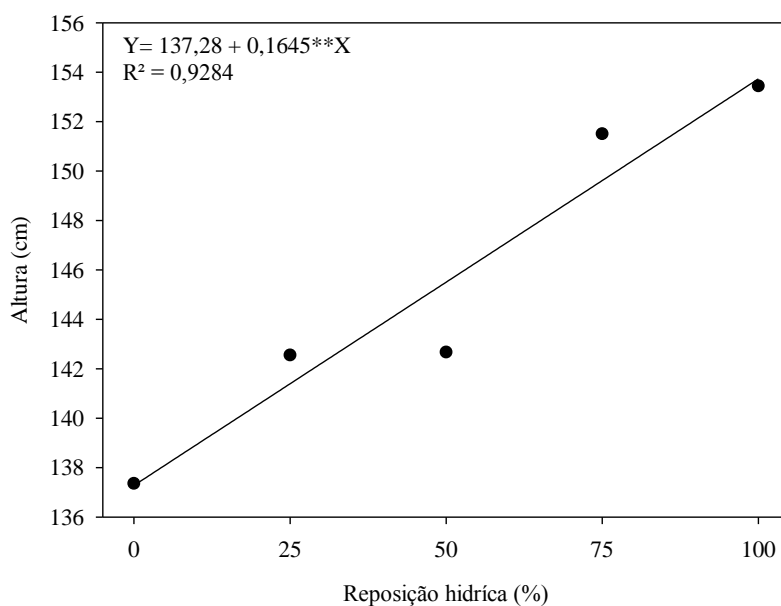
A reposição hídrica (RH) foi significativa ao nível de 5% para o número de entrenós em cana-planta. Houve efeito significativo ao nível de 1% probabilidade, para a época de avaliação em cana-planta para as variáveis, número de entrenós, de perfilhos e de plantas. Para o número de entrenós a interação foi significativa ao nível de 1% de probabilidade em cana-planta (Tabela 3). 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.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis número de entrenós, número de perfilhos e de plantas da cana-de-açúcar em cana-plantas submetidas a diferentes reposições hídricas.

FV	GL	QM		
		NE	NP	NPL
Bloco	3	3,91*	1,91 ^{ns}	19,63 ^{ns}
RH	4	3,99*	10,82 ^{ns}	139,76 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,97	16,41	120,41
Época	4	1160,72**	5327,67**	5805,36**
RH*Época	16	1,22**	4,28 ^{ns}	12,40 ^{ns}
Resíduo (b)	60	0,52	9,55	29,24
CV1 (%)		10,22	6,04	9,95
CV2 (%)		7,47	7,49	9,69

¹Número de entrenós (NE), número de perfilhos (NP) e número de plantas (NPL) da cana-de-açúcar; Reposição hídrica (RH); Época de avaliação (Época); Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

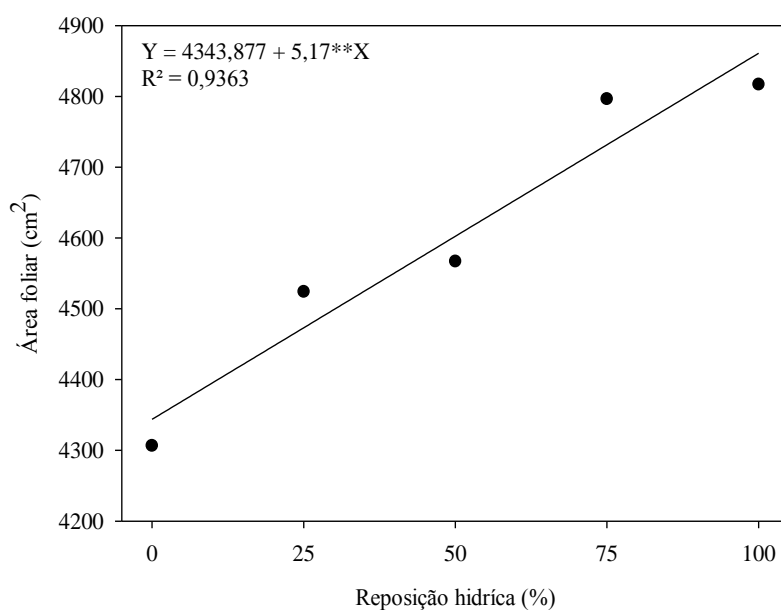
A altura de plantas máxima alcançada na reposição hídrica de 100% foi 10,7% superior a RH de 0%, já em relação à altura de plantas observada na reposição hídrica de 75%, essa diferença foi de apenas 2,7%, enquanto em relação à reposição hídrica de 25 e 50%, esta foi de aproximadamente 8 e 5,3% respectivamente, mostrando deste modo o crescimento de 0,2 cm para cada aumento de 1% de RH (Figura 10). A elevação no crescimento desta variável seja resultado da irrigação, uma vez que a água tem papel fundamental na maior alongação dos entrenós, resultando em plantas mais altas em condições favoráveis ao crescimento vegetal (SHIGAKI et al., 2004).



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

Figura 10. Altura de plantas em função da reposição hídrica para cana-plantas.

Na Figura 11, tem-se o comportamento da cultura quanto à área foliar em cana-planta, e observa-se o aumento linear ($R^2 > 93\%$) na área foliar em função da reposição hídrica. A área foliar aumenta 2,8% para cada incremento de 25% de reposição hídrica. A área foliar em relação às reposições hídricas de 50 e 100% indicou a diferença de 5,3%, com destaque para diferença ocorrida entre a reposição hídrica de 0 e 100% que foi de aproximadamente 10,6%.



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

Figura 11. Área foliar em função da reposição hídrica para cana-planta.

O desdobramento de RH não foi significativo entre os 90 e 270 dias, sendo apenas significativo ao nível de 1% aos 330 dias e de 5% aos 300 dias, para número de folhas em cana-planta (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para o número de folhas em cana-planta.

FV	Época ¹	QM
		NF ²
RH	90	0,12 ^{ns}
RH	120	0,78 ^{ns}
RH	150	0,29 ^{ns}
RH	180	0,52 ^{ns}
RH	210	0,39 ^{ns}

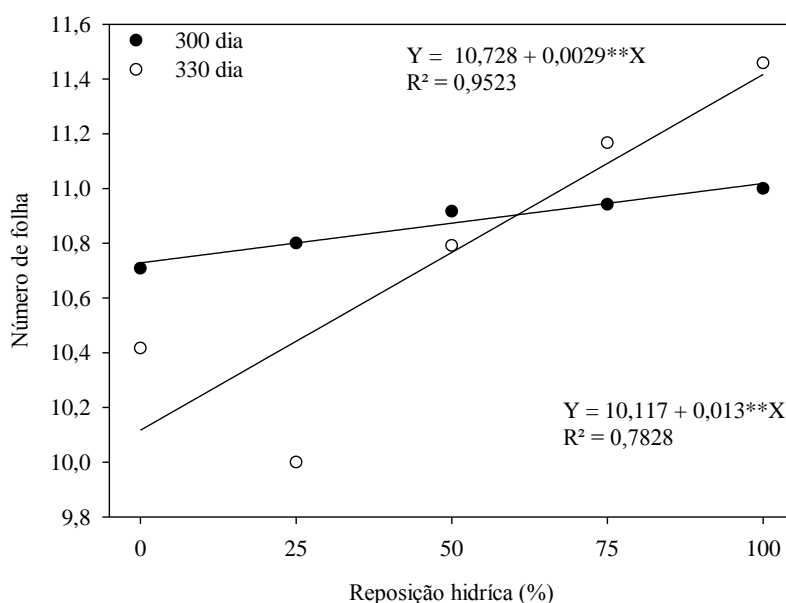
RH	240	0,48 ^{ns}
RH	270	0,69 ^{ns}
RH	300	1,05*
RH	330	2,69**
Resíduo		0,41

¹Época de avaliação (Época); ²Número de folhas (NF) da cana-de-açúcar. ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o número de folhas, em função da reposição hídrica, verificou-se resposta linear aos 300 e 330 dias em cana-planta, com R^2 maior que 78% (Figura 12).

O número de folhas em cana-planta aumentou mais vertiginosamente em função da reposição hídrica aos 330 dias, principalmente quando comparado a reposição hídrica de 100 e 0%, do que aos 300 dias, que demonstrou diferenças de apenas 2,6% à medida que aos 330 dias essa diferença foi de aproximadamente 11,4%. O número de folhas na reposição hídrica de 25% aos 330 dias foi 8,5% menor do que a RH de 100%.

A cada incremento de 25% na reposição hídrica, tem-se o aumento de 0,7 e 3% no número de folhas aos 300 e 330 dias respectivamente. A intersecção no número de folhas, ocorre na reposição hídrica de 60%, nesta RH o número de folhas é equivalente para ambas as épocas de avaliação, sendo este número de folhas 1,6 e 7,1% superior a RH de 0%, aos 300 e 330 dias respectivamente.



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

Figura 12. Número de folhas em função da reposição hídrica para cana-planta.

O desdobramento de RH foi significativo ao nível de 1% aos 210, 300 e 330 dias, e significativo ao nível de 5% aos 240 e 270 dias para o número de entrenós (cana-planta) (Tabela 5).

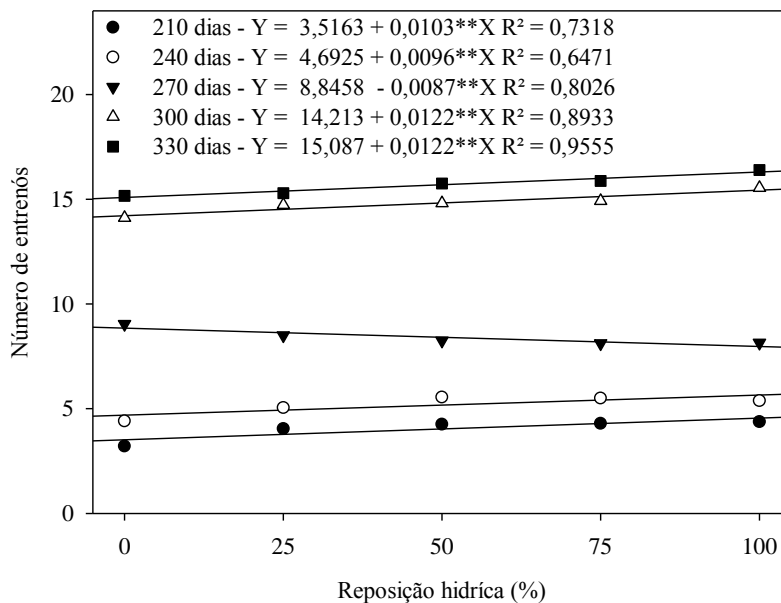
Tabela 5. Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para o número de entrenós em cana-planta.

FV	Época ¹	QM
		NE ²
RH	210	1,82 ^{**}
RH	240	1,78 [*]
RH	270	1,26 [*]
RH	300	2,08 ^{**}
RH	330	1,94 ^{**}
Resíduo		0,52

¹Época de avaliação (Época); ²Número de entrenós (NE) da cana-de-açúcar. ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

O número de entrenós em função da reposição hídrica em cana-planta se adequou ao modelo linear, aos 210, 240, 270, 300 e 330 dias, com R² variando entre 64 e 95,6%. A Figura 13 apresenta o comportamento do número de entrenós da cana-planta para cada época de avaliação em função da reposição hídrica. Levando em consideração o maior e o menor número de entrenós em relação as épocas de avaliações se têm as seguintes comparações: aos 210, 240, 300 e 330 dias a reposição hídrica de 100% foi 26,7, 17, 9,2 e 7,5% superior a reposição hídrica de 0%, respectivamente, à medida que aos 270 dias a reposição hídrica de 0% foi 9,9% superior a reposição hídrica de 100%. Silva et al. (2014) de maneira semelhante observaram acréscimo significativo a partir dos 210 dias após o plantio, com o aumento mais pronunciado entre os 270 e 300 dias após o plantio, com acréscimo de 42% no número de entrenós durante este período.

O número de entrenós a cada aumento de 1% na reposição hídrica demonstra o acréscimo de 0,01, 0,009, 0,012 e 0,012 aos 210, 240, 300 e 330 dias respectivamente, enquanto aos 270 dias o número de entrenós a cada aumento de 1% na reposição hídrica demonstra o decréscimo de 0,009.

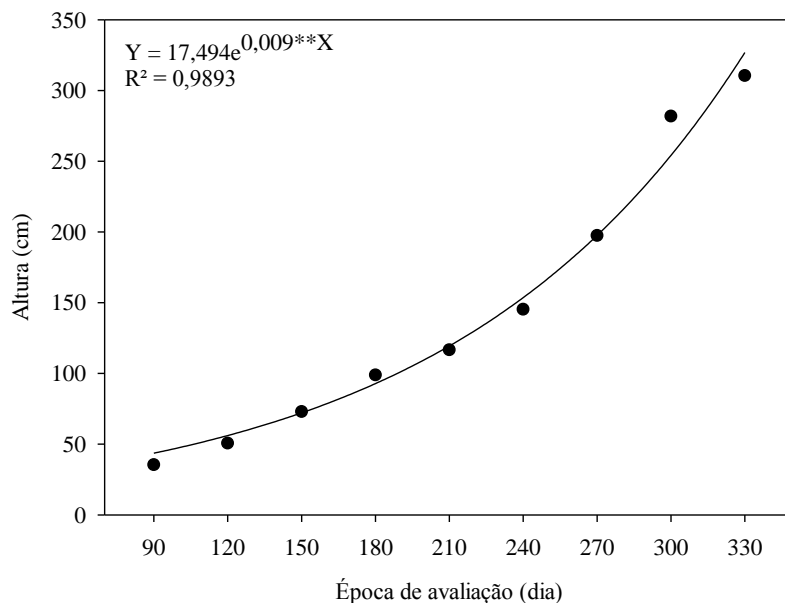


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 13. Número de entrenós em função da reposição hídrica para a cana-planta.

A altura de plantas em função da época de avaliação em cana-planta, por se adequar ao crescimento exponencial, mostrou o incremento percentual constante ao longo do tempo, conseqüentemente o crescimento entre as épocas de avaliação foram equivalentes, sendo este acréscimo de 22,3% a cada 30 dias. A altura aos 90 dias é 86,6% menor do que a observada aos 330 dias; a metade do crescimento da cana-de-açúcar verificado aos 330 dias foi alcançado aos 247 dias, assim de maneira geral, verificou-se o crescimento de $1,18 \text{ cm dia}^{-1}$ (Figura 14).

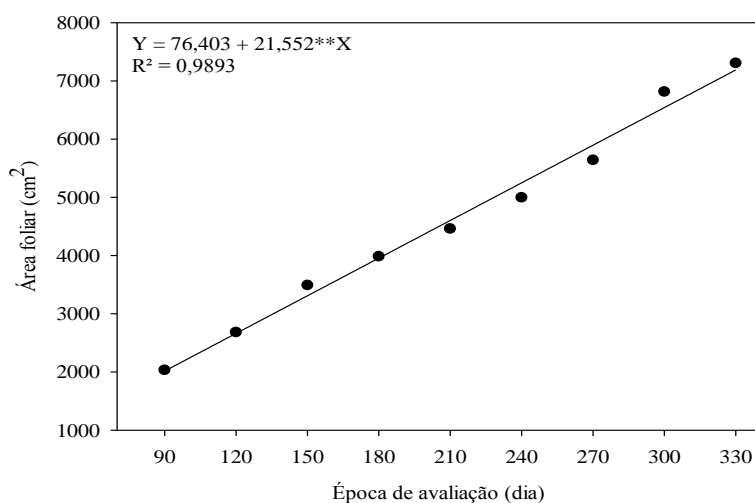
O maior crescimento verificado nessa época, deve-se ao fato, por esse período ser caracterizado por baixa ou irregular precipitação, maior intensidade de luz e temperaturas mais elevadas que, associadas à disponibilidade hídrica promovida pela irrigação subsuperficial, promovem maiores ganhos em altura (OLIVEIRA et al., 2010; RHEIN, 2012).



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

Figura 14. Altura de plantas em função da época de avaliação para cana-planta.

A área foliar em cana-planta se adequou ao crescimento linear, com R^2 de 98,93%. A área foliar em função da época de avaliação, demonstrou o aumento diário de $21,5 \text{ cm}^2$. O maior incremento na área foliar ocorreu entre os 90 e 120 dias, com a diferença de 24,3%, essa diferença se manteve acima de 14% entre 180 e 210 dias, e de aproximadamente 11% entre os 240 e 270 dias, chegando a apenas 9% entre os 300 e 330 dias, conseqüentemente os maiores incremento em área foliar são observados nas fases iniciais da cana-de-açúcar em cana-planta (Figura 15).

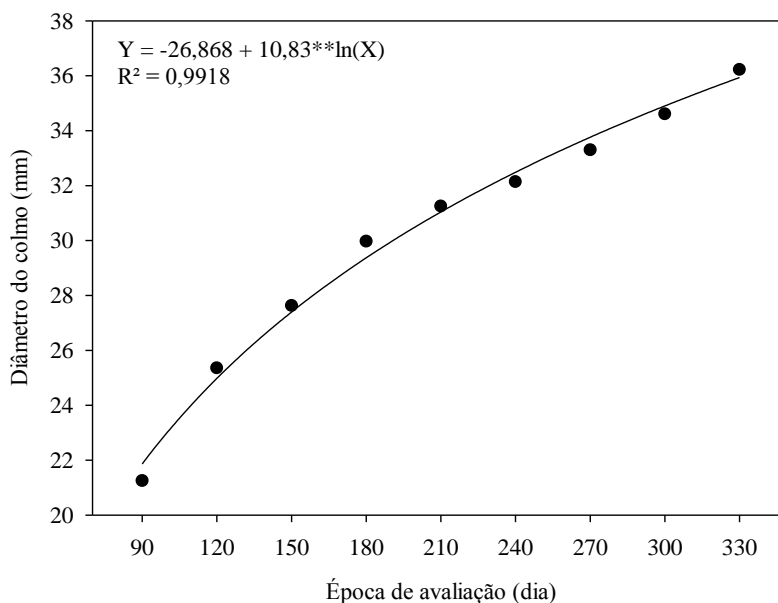


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 15. Área foliar em função da época de avaliação para cana-planta.

O diâmetro do colmo em cana-planta se adequou a relação logarítmica, com R^2 de 99,18%, indicando que apenas 0,82% das variações do diâmetro do colmo não são explicadas pela variação da época de avaliação.

Para o diâmetro do colmo em cana-planta, verifica-se que até aos 150 dias, mais da metade do diâmetro total já foi alcançado (76,2%), indicando o crescimento inicial rápido, entretanto o crescimento final é lento ($0,03 \text{ mm dia}^{-1}$). O diâmetro do colmo dos 180 aos 330 dias se torna pouco variável, com o acréscimo médio de $0,04 \text{ mm dia}^{-1}$, à medida que entre 90 e 330 dias este valor é em torno de $0,06 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 16). O diâmetro de colmo é um parâmetro fisiológico que apresenta pequenas variações, uma vez que está atrelado às características genéticas da variedade, do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições ambientais (OLIVEIRA et al., 2011), mas mais essencialmente pelo seu comportamento logarítmico que torna o incremento final limitado.



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

Figura 16. Diâmetro do colmo em função da época de avaliação para cana-planta.

O desdobramento de época de avaliação dentro de cada nível de RH, apresentou efeito significativo ao nível de 1% para número de folhas e de entrenós em cana-planta (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo do desdobramento de época de avaliação dentro de cada nível de reposição hídrica, para o número de folhas e de entrenós da cana-de-açúcar em cana-planta.

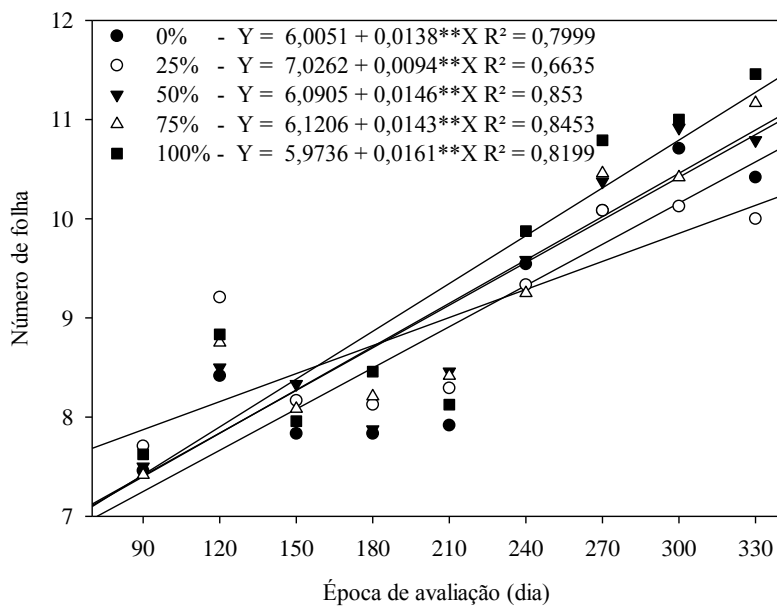
FV	RH	QM	
		NF	NE
Época	0	12,94**	237,31**
Época	25	7,23**	223,11**
Época	50	13,41**	223,68**
Época	75	13,12**	225,32**
Época	100	16,98**	256,19**
Resíduo		0,41	0,52

¹Número de entrenós (NE) e número de folhas (NF) da cana-de-açúcar; reposição hídrica (RH); Época de avaliação (Época). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

O número de folhas em função da época de avaliação em cana-planta se adequou ao modelo linear, para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, com R^2 variando entre 64 e 95,6%.

O número de folhas em função da época de avaliação, entre os 90 e 330 dias, demonstrou o maior acréscimo principalmente quando sob a reposição hídrica de 100%, deste modo as diferenças no número de folhas foram de 31,4, 22,3, 32, 31,7 e 34,2% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; já entre os 210 e 330 dias as diferenças no número de folhas foram de 15,7, 11, 16, 15,8 e 17,1% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; enquanto entre os 300 e 330 dias as diferenças no número de folhas foram de 3,9, 2,8, 4, 3,9 e 4,3% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; logo apresentando aumento no número de folha de 0,014, 0,009, 0,015, 0,014 e 0,016 dia⁻¹.

O número de folhas tendeu a aumentar com o acréscimo da reposição hídrica, conforme observado entre a RH de 25 e 50%, que aos 330 dias alcançou a diferença no número de folhas 7,3%; essa tendência é ainda mais confirmada quando se leva em consideração o número de folhas por dia, que para a RH de 0 e 100% é de aproximadamente 0,014 e 0,016 respectivamente, sendo assim, em torno de 7/6 vezes superior à RH de 100% (Figura 17). Holanda (2012) similarmente verificou que a cultivar RB965917 teve a menor redução no número de folhas verdes aos 63 DAT, com 32% de diferença entre os tratamentos, enquanto a maior redução foi da RB855453, de 52%; essa maior redução no número de folhas verdes na RB855453 foi contrastante ao se comparar com outras variáveis, em que se observou as menores reduções sob estresse hídrico.



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

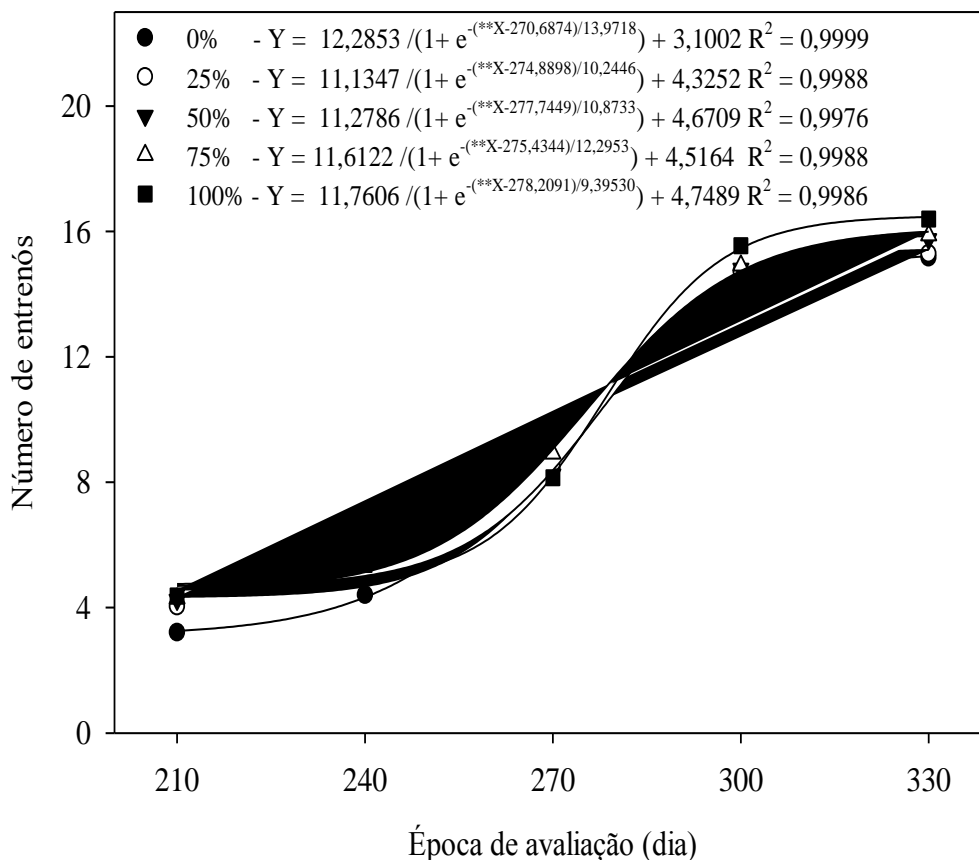
Figura 17. Número de folhas em função da época de avaliação para a cana-planta.

O número de entrenós em função da época de avaliação em cana-planta se adequou ao modelo sigmoide, para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, com o menor R^2 de 99,76%, indicando a excelente adequação do modelo sigmoide, conseqüentemente apenas 0,24% das variações do número de entrenós não são explicadas pela variação da época de avaliação.

Para o número de entrenós em cana-planta, verifica-se três fases de crescimento, a primeira lenta ocorrendo entre 210 e 240 dias, a segunda extremamente rápida ou fase intermediária aos 270 dias e a terceira novamente lenta entre 300 e 330 dias; o número de entrenós teve grande influência da reposição hídrica, de tal forma a diferença entre 210 e 240 dias no número de entrenós foi de 24,7, 7,2, 6,3, 10,9 e 3,8%, para reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente, fato este que mostra o incremento no número de entrenós aos 210 e 240 dias tende a aproximar com o aumento da reposição hídrica, podendo desta forma inferir que com o aumento da reposição hídrica o número de entrenós se torne praticamente equivalente aos 210 e 240 dias (Figura 18).

A diferença entre 240 e 270 dias no número de entrenós foi de 52,4, 45,5, 40,2, 43,3 e 39,8%, para reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente, à medida que a diferença entre 270 e 300 dias no número de entrenós foi de 35,3, 41,1, 42,8, 38,5 e 46,9%, para reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente, e finalmente a

diferença entre 300 e 330 dias no número de entrenós foi de 7,7, 5,4, 7,6, 7,8 e 6,1%, para reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente. Os incrementos diários foram de 0,099, 0,092, 0,093, 0,095 e 0,097 dia⁻¹, para reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente.

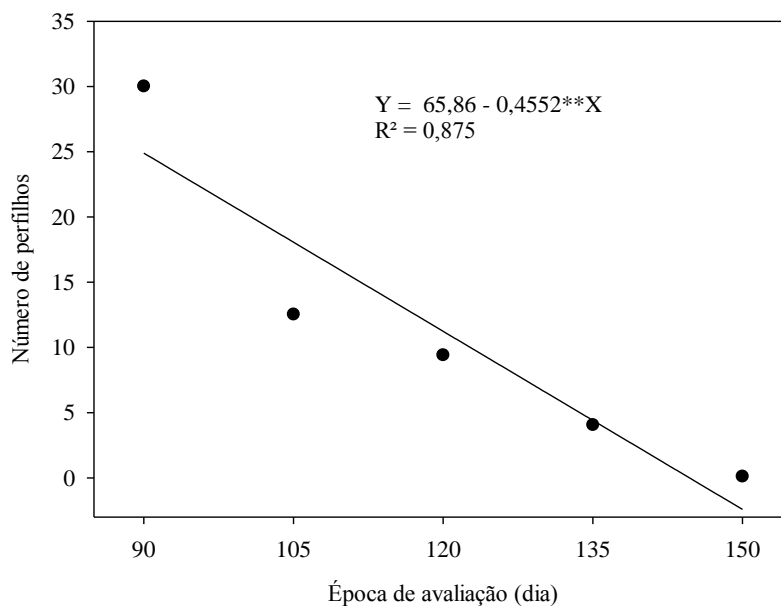


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 18. Número de entrenós em função da época de avaliação para a cana-planta.

Para o número de perfilhos, observou-se resposta linear em função da época de avaliação para cana-planta, com R² maior que 87%.

O perfilhamento tende a diminuir progressivamente com o passar do tempo, aos 105 dias, a queda no perfilhamento é de 27,4%, ao passo que aos 120 dias esse decréscimo se torna ainda maior, sendo este em torno de 37,8% e com redução ainda mais expressiva de aproximadamente 60,7% aos 135 dias (Figura 19). A competição por luz, área, água e nutrientes ocasionam a redução no número de perfilhos após os 180 DAP, refletindo na diminuição e paralisação do processo, além da morte de perfilhos mais jovens (CASTRO, 2000; OLIVEIRA et al., 2004).

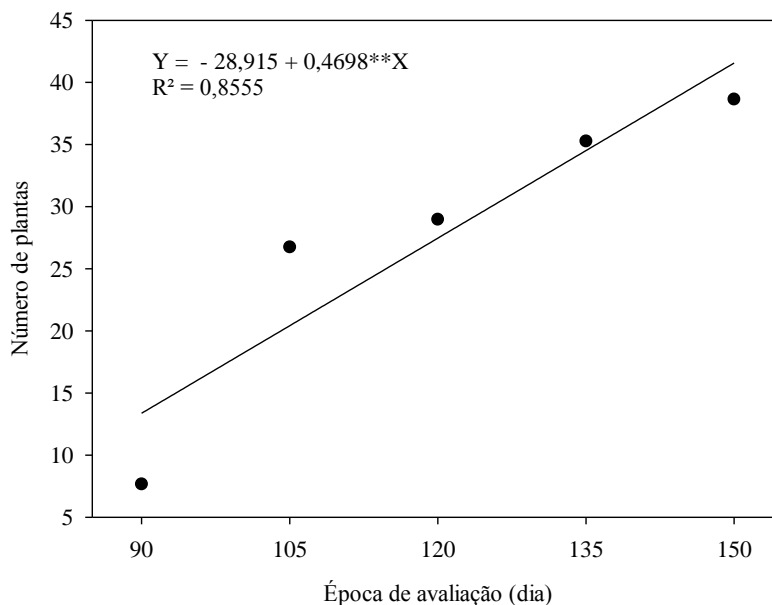


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 19. Número de perfilhos em função da época de avaliação para cana-planta.

O número de plantas em cana-planta se adequou ao modelo linear com R^2 de 85,5%. Conforme verificado na Figura 20, houve o aumento no número de plantas entre os 90 e 105 dias de 34,5%, ao passo que entre os 105 e 120 dias esse incremento no número de plantas foi de 25,7%, seguido do acréscimo de 20,4% entre 120 e 135 dias, e menor incremento no número de plantas ocorrido entre os 120 e 150 dias, que foi inferior a 17%.

Os elevados números de plantas que pode ser observado em algumas épocas de avaliações, ao passo que em outros períodos este aumento se tornou menos relevante, estes aumentos menos expressivos pode ser atribuído a aproximação do encerramento do perfilhamento, a morte de perfilhos e até mesmo de plantas jovens. Silva et al. (2014) também verificaram aumento no número de plantas até os 150 dias após o plantio, estabilizando-se até os 180 dias após o plantio com posterior queda a partir deste período e do mesmo modo atribuíram a redução a morte de plantas e encerramento do perfilhamento neste período, e observaram queda de 45% do número de plantas no período compreendido entre 180 e 240 dias após o plantio.



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

Figura 20. Número de plantas em função da época de avaliação para cana-planta.

A reposição hídrica foi significativa ao nível de 1% de probabilidade para altura de planta, área foliar, diâmetro de colmo e número de folhas em cana-soca. Dantas Neto et al. (2006) também observaram efeito significativo em muitas destas variáveis morfológicas em função da disponibilidade hídrica. Houve efeito significativo ao nível de 1% probabilidade, para a época de avaliação em cana-soca, para a altura de planta, área foliar, diâmetro do colmo e número de folhas.

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. Para cana-soca os efeitos de RH dependem do nível de época de avaliação e vice-versa, para altura de planta e área foliar sendo estas significantes ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para altura de plantas, área foliar, diâmetro do colmo e número de folhas da cana-de-açúcar (cana-soca) submetida a diferentes reposições hídricas.

FV	GL	QM			
		AP	AF	DC	NF
Bloco	3	98,12 ^{ns}	1769330,37*	15,53 ^{ns}	2,94*
RH	4	8387,34**	11624806,87**	158,82**	3,87**
Resíduo (a)	12	210,31	381052,94	17,79	0,54
Época	8	454773,7**	157206914,39**	1283,99**	16,00**
RH*Época	32	310,45**	482954,04**	2,41 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Resíduo (b)	120	83,55	144791,69	3,15	0,28
CV1 (%)		10,05	17,33	15,84	9,95
CV2 (%)		6,33	10,68	6,67	7,19

¹Altura de planta (AP), área foliar (AF), diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF) da cana-de-açúcar. Reposição hídrica (RH); época de avaliação (Época); coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A reposição hídrica para cana-soca foi significativa ao nível de 1% de probabilidade para número de perfilhos e de plantas, e significativa ao nível de 5% de probabilidade para o número de entrenós. Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade, para a época de avaliação em cana-soca para o número de entrenós, de perfilhos e de plantas. Para cana-soca os efeitos de RH dependem do nível de época de avaliação e vice-versa, para número de perfilhos e de plantas, sendo estes significantes ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para número de entrenós, de perfilhos e de plantas da cana-de-açúcar (cana-soca) submetida a diferentes reposições hídricas.

FV	GL	QM		
		NE	NP	NPL
Bloco	3	0,56 ^{ns}	11,22 ^{ns}	408,47*
RH	4	6,84*	105,74**	1378,15**
Resíduo (a)	12	1,84	15,49	70,52
Época	4	718,21**	2786,71**	10140,87**
RH*Época	16	0,404 ^{ns}	17,36**	95,58**
Resíduo (b)	60	0,49	8,16	40,48
CV1 (%)		15,12	18,58	13,43
CV2 (%)		7,79	7,74	10,18

¹Número de entrenós, de perfilhos e plantas da cana-de-açúcar. Reposição hídrica (RH); época de avaliação (Época); coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

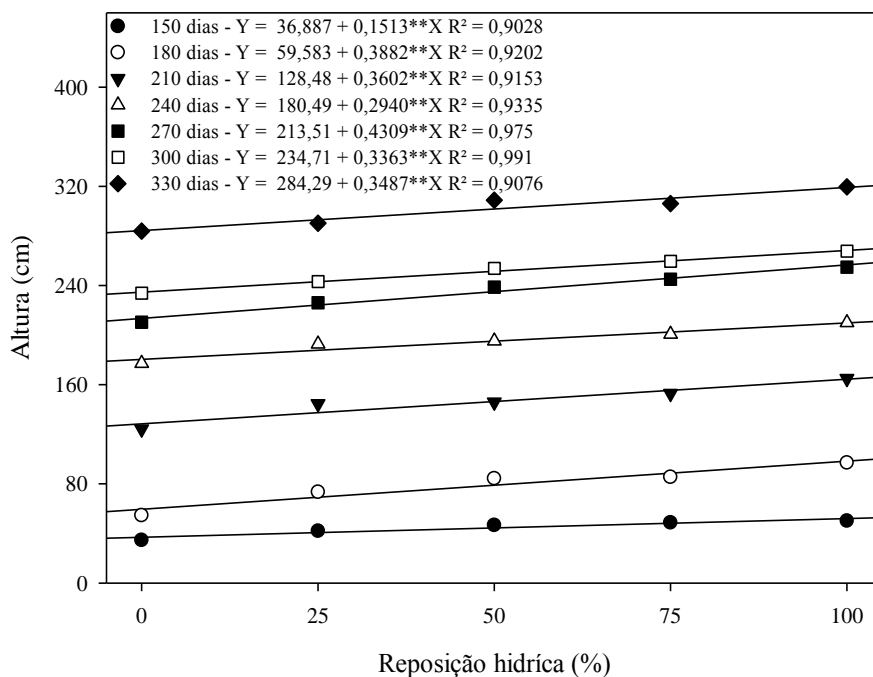
O desdobramento de RH foi significativo ao nível de 1% de probabilidade aos 150 dias até aos 330 dias para altura de planta em cana-soca, enquanto aos 90 e 120 dias não houve significância pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para altura de planta (cana-soca).

FV	Época	QM
		AP
RH	90	15,34 ^{ns}
RH	120	80,54 ^{ns}
RH	150	316,81 ^{**}
RH	180	2046,51 ^{**}
RH	210	1771,96 ^{**}
RH	240	1157,86 ^{**}
RH	270	2380,73 ^{**}
RH	300	1426,35 ^{**}
RH	330	1674,81 ^{**}
Resíduo		83,55

¹Altura de planta (AP) da cana-de-açúcar. Reposição hídrica (RH); época de avaliação (Época). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A altura de plantas em função da reposição hídrica, em cana-soca se adequou ao crescimento linear aos 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias, com R² superiores a 90%. A Figura 21 apresenta o crescimento da cana-de-açúcar em cana-soca para cada época de avaliação em função da reposição hídrica; de acordo com a equação de regressão obteve o acréscimo de 7,3, 9,9, 5,5, 3,5, 4,2, 3,1 e 2,7%, para cada aumento de 25% de RH, aos 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias, respectivamente. Observa-se, pelos acréscimos obtidos, que a reposição hídrica apresentou mais efeito aos 150 e 180 dias, fato justificado por ser período de estresse hídrico que as plantas passaram segundo a Figura 2. Levando em consideração o maior (RH de 100%) e a menor altura de plantas (RH de 0%) aos 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias, as diferenças na altura de plantas em relação à RH foram de 29, 39, 21,9, 14, 16,8, 12,5 e 10,9%, respectivamente.



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

Figura 21. Altura de plantas em função da reposição hídrica para cana-soca.

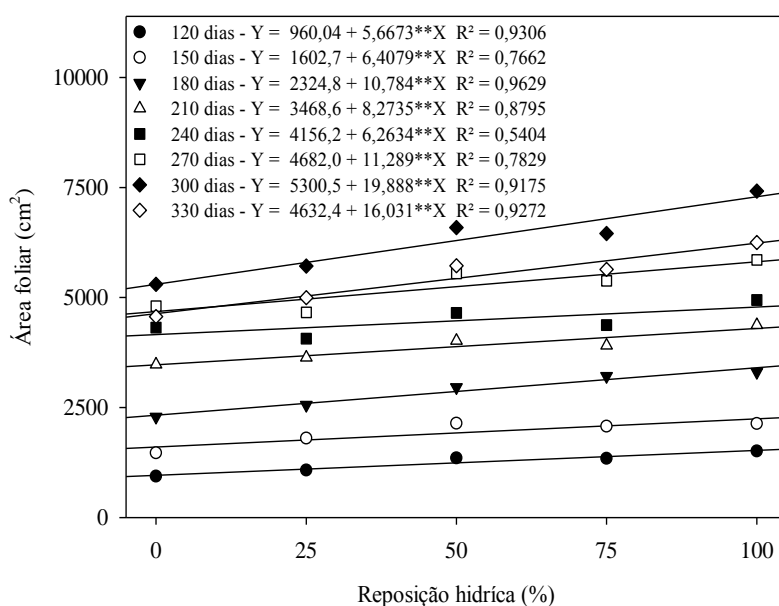
O desdobramento de RH foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, aos 150 até aos 330 dias e significativo ao nível de 5% de probabilidade, aos 120 dias para área foliar em cana-soca, à medida que aos 90 dias não houve significância pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação para área foliar (cana-soca).

FV	Época	AF
RH	90	109038,9 ^{ns}
RH	120	431403,1 [*]
RH	150	669923,3 ^{**}
RH	180	1509876 ^{**}
RH	210	972885 ^{**}
RH	240	907354,9 ^{**}
RH	270	2034696 ^{**}
RH	300	5388492 ^{**}
RH	330	3464769 ^{**}
Erro		144791,7

¹Área foliar (AF) da cana-de-açúcar; Reposição hídrica (RH); Época de avaliação (Época). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A área foliar em função da reposição hídrica em cana-soca se adequou ao crescimento linear, aos 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias, com R^2 variando de 54 a 96,3%. A Figura 22 apresenta a área foliar da cana-de-açúcar em cana-soca para cada época de avaliação em função da reposição hídrica; de acordo com a equação de regressão obteve o acréscimo de 9,3, 7,1, 7,9, 4,8, 3,3, 4,9, 6,8 e 6,4%, para cada aumento de 25% de RH, aos 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias, respectivamente. Observa-se, pelos acréscimos obtidos, que a reposição hídrica apresentou mais efeito na área foliar principalmente aos 120, 150 e 180 dias, fato justificado por ser período de estresse hídrico que as plantas passaram segundo a Figura 2. Levando em consideração a maior (RH de 100%) e a menor área foliar (RH de 0%) aos 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias, as diferenças na área foliar em relação a estas RH foram de 37, 28,6, 31,7, 19,2, 13,1, 19,4, 27,3 e 25,7%, respectivamente. Velini et al. (1993) constataram que a cultura tolera 27% de comprometimento de sua área foliar sem prejudicar seu rendimento.

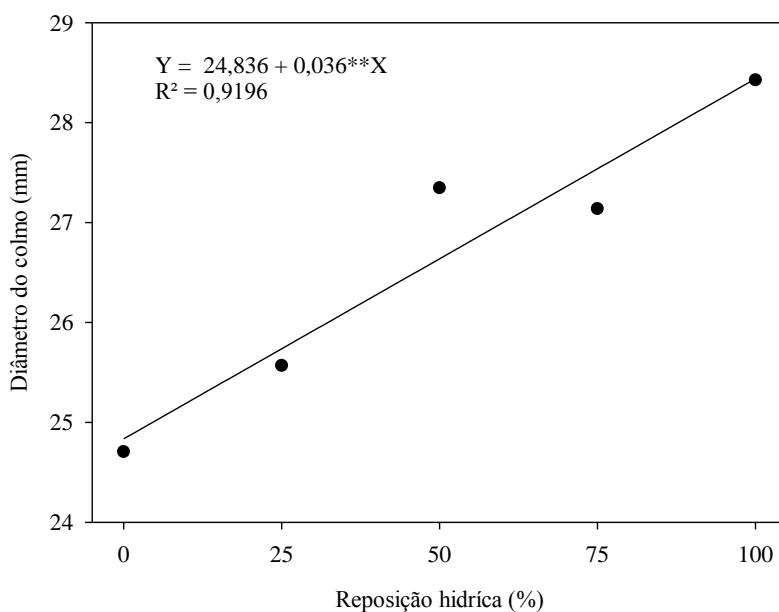


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 22. Área foliar em função da reposição hídrica para cana-soca.

O diâmetro do colmo para cana-soca se adequou ao crescimento linear com R^2 de 91,96% em função da reposição. O maior diâmetro de colmo em cana-soca foi encontrado na reposição hídrica de 100% (28,4 mm), sendo este 12,7, 9,5, 6,3 e 3,2% maior do que os observados na reposição hídrica de 0, 25, 50 e 75%, respectivamente;

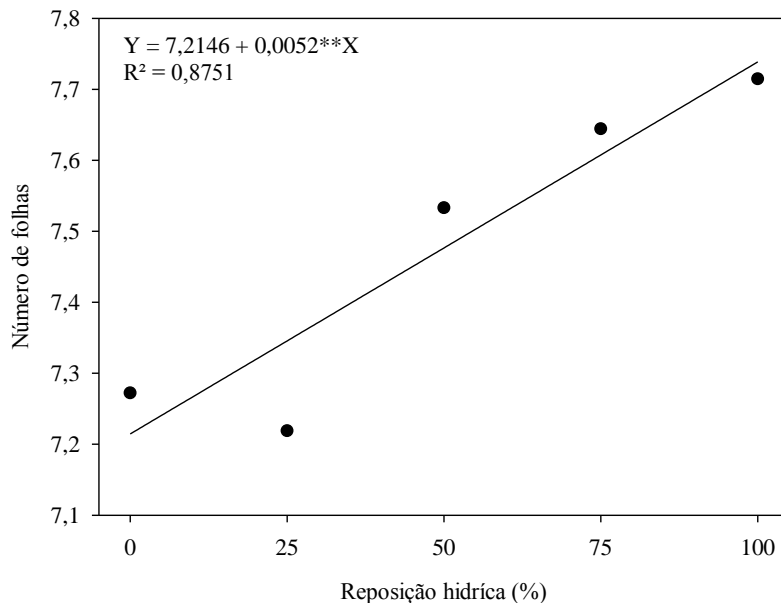
consequentemente, de acordo com a equação de regressão obteve o acréscimo de 3,2%, para cada aumento de 25% de RH ou o acréscimo de 0,036 mm, para cada aumento de 1% de RH (Figura 23). Os resultados obtidos corroboram com Moura et al. (2005), que consideram adequados valores de diâmetro de colmo acima de 22 mm para a cana-de-açúcar irrigada.



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

Figura 23. Diâmetro do colmo em função da reposição hídrica para cana-soca.

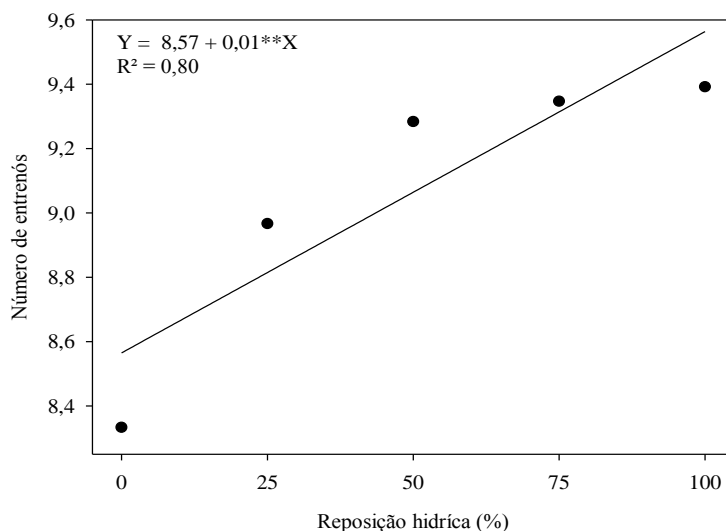
O número de folhas para cana-soca se adequou ao crescimento linear com R^2 de 87,51% em função da reposição. O número de folhas máximo em cana-soca foi observado na RH de 100%, (aproximadamente 8 folhas), sendo este 6,8, 5,1, 3,4 e 1,7% maior do que os observados na reposição hídrica de 0, 25, 50 e 75%, respectivamente; consequentemente, de acordo com a equação de regressão obteve o acréscimo de 1,7%, para cada aumento de 25% de RH ou o acréscimo de 0,005 folhas para cada aumento de 1% de RH (Figura 24).



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

Figura 24. Número de folhas em função da reposição hídrica para cana-soca.

O número de entrenós para cana-soca se adequou ao crescimento linear com R^2 de 80% em função da reposição. O maior número de entrenós em cana-soca foi encontrado na reposição hídrica de 100% (9,6 entrenós), sendo este 10,4, 7,8, 5,2 e 2,6% maior do que os observados na reposição hídrica de 0, 25, 50 e 75%, respectivamente; conseqüentemente, de acordo com a equação de regressão obteve o acréscimo de 2,6%, para cada aumento de 25% de RH ou o acréscimo de 0,01 entrenó para cada aumento de 1% de RH (Figura 25).



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

Figura 25. Número de entrenós em função da reposição hídrica para cana-soca.

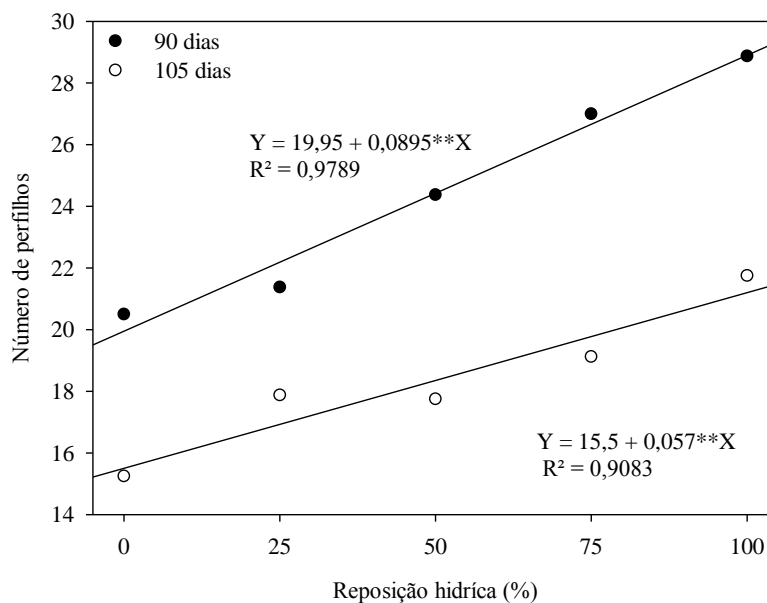
O desdobramento de RH foi significativo ao nível de 1% de probabilidade aos 105 dias até aos 135 dias para o número de plantas, aos 90 e 105 dias para o número de perfilhos em cana-soca, não apresentando significância pelo teste F a 5% de probabilidade, para o número de perfilhos aos 120, 135 e 150 dias e para o número de plantas aos 90 e 150 dias (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo do desdobramento de reposição hídrica dentro de cada nível de época de avaliação, para número de perfilho e de planta (cana-soca).

FV	Época	QM	
		NP	NPL
RH	90	102,29 ^{**}	27,96 ^{ns}
RH	105	44,71 ^{**}	706,66 ^{**}
RH	120	16,15 ^{ns}	561,96 ^{**}
RH	135	10,97 ^{ns}	366,94 ^{**}
RH	150	1,037 ^{ns}	96,96 ^{ns}
Resíduo		8,16	40,48

¹Número de perfilhos (NP) e número de plantas (NPL) da cana-de-açúcar; Reposição hídrica (RH); Época de avaliação (Época). ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

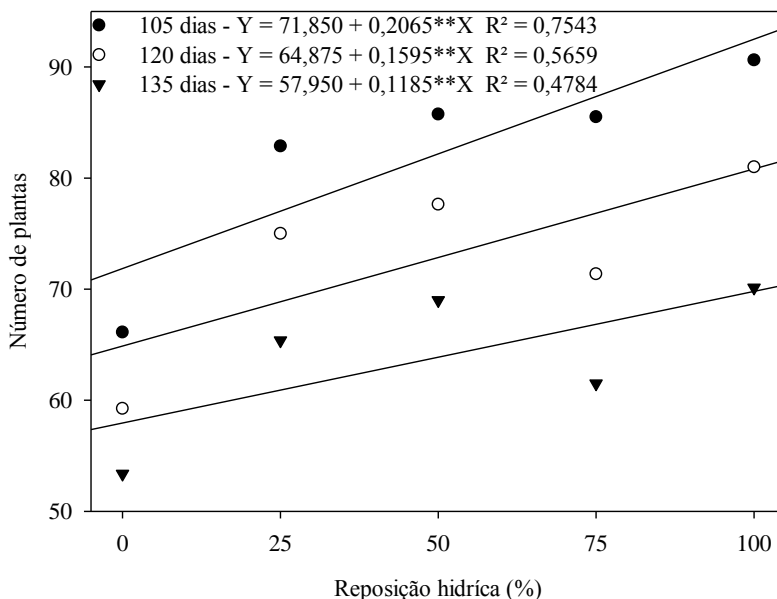
O perfilhamento em função da reposição hídrica em cana-soca se adequou ao crescimento linear, aos 90 e 105 dias, com R² acima de 90%. A Figura 26 apresenta o perfilhamento da cana-de-açúcar em cana-soca para cada época de avaliação em função da reposição hídrica; de acordo com a equação de regressão obteve o acréscimo de 7,7 e 6,7%, para cada aumento de 25% de RH, aos 90 e 105 dias, respectivamente. Levando em consideração o maior (RH de 100%) e o menor perfilhamento (RH de 0%) aos 90 e 105 dias, as diferenças no perfilhamento em relação à RH foram de 31 e 27%, respectivamente; com o acréscimo de 0,09 e 0,06 perfilhos aos 90 e 105 dias respectivamente, para cada aumento de 1% de RH.



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

Figura 26. Número de perfilhos em função da reposição hídrica para cana-soca.

O número de plantas em função da reposição hídrica para cana-soca se adequou ao crescimento linear, aos 105, 120 e 135 dias, com R^2 variando de 47 a 76%; conforme a equação de regressão obteve o acréscimo de 5,6, 4,9 e 4,2%, para cada aumento de 25% de RH, aos 105, 120 e 135 dias, respectivamente. Levando em consideração o maior (RH de 100%) e o menor número de plantas (RH de 0%) aos 105, 120 e 135 dias, as diferenças no número de plantas em relação à RH foram de 22,3, 19,7 e 17%, respectivamente; com um acréscimo de 0,21, 0,16 e 0,12 plantas aos 105, 120 e 135 dias respectivamente, para cada aumento de 1% de RH (Figura 27).



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

Figura 27. Número de plantas em função da reposição hídrica para cana-soca.

O desdobramento de época de aplicação dentro de cada nível de RH, apresentou efeito significativo ao nível de 1% para altura de plantas, área foliar, número de perfilhos e de plantas em cana-soca. (Tabela 12).

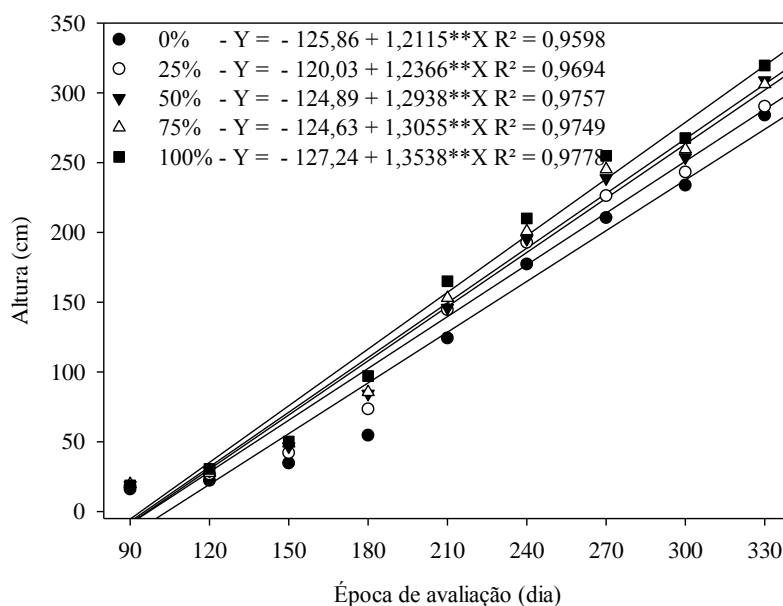
Tabela 12. Resumo do desdobramento de época de avaliação dentro de cada nível de reposição hídrica, para altura de plantas, área foliar, número de perfilhos e de plantas (cana-soca).

FV	RH	QM			
		AP	AF	NP	NPL
Época	0	82571,85**	26089585**	375,96**	889,84**
Época	25	85183,98**	26032452**	478,54**	2204,34**
Época	50	92638,09**	33920491**	497,84**	2430,06**
Época	75	94402,24**	31668944**	695,46**	2162,15**
Época	100	101219,3**	41427259**	808,34**	2836,81**
Resíduo		83,55	144791,7	8,16	40,48

¹Altura de plantas (AP), área foliar (AF), número de perfilhos (NP) e número de plantas (NPL) da cana-de-açúcar; Reposição hídrica (RH); Época de avaliação (Época). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A altura de plantas em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao crescimento linear para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, com R^2 superiores a 95%. A Figura 28 apresenta o crescimento da cana-de-açúcar em cana-soca para cada reposição hídrica em função da época de avaliação; de acordo com a equação de regressão

obteve o acréscimo de 13,3, 12,9, 12,8, 12,8, e 12,7%, para cada aumento de 30 dias, para as reposições hídricas de 0, 25, 50, 75 e 100%, respectivamente. Levando em consideração a menor (90 dias) e a maior altura de plantas (330 dias) nas reposições hídricas de 0, 25, 50, 75 e 100%, verifica-se as diferenças na altura de plantas em relação às épocas de avaliação de 106, 103, 102,8, 102,3 e 101,7%, respectivamente. A altura de plantas também indicou o acréscimo de 1,21, 1,24, 1,29, 1,3 e 1,35 cm dia⁻¹, para as reposições hídricas de 0, 25, 50, 75 e 100%, respectivamente.



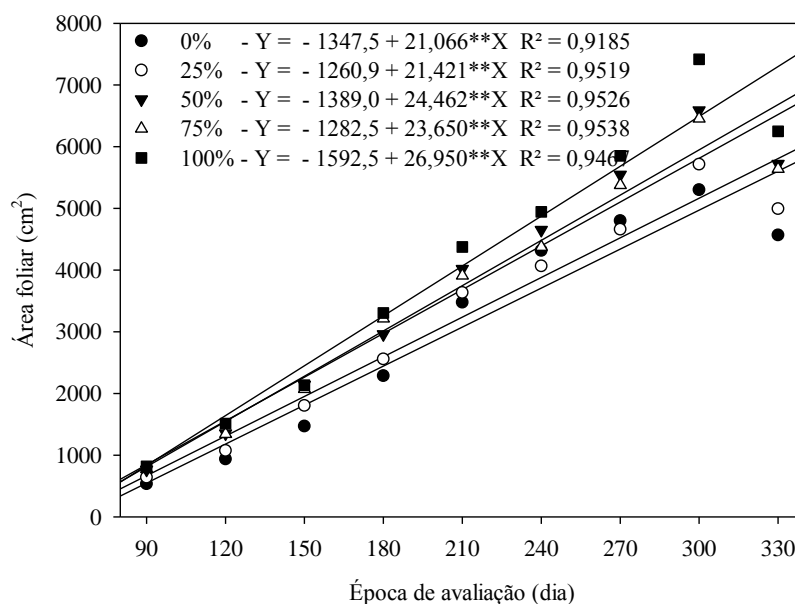
** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 28. Altura de plantas em função da época de avaliação para cana-soca.

A área foliar em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao crescimento linear para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, com R² acima de 91%. A Figura 29 apresenta a área foliar da cana-de-açúcar em cana-soca para cada reposição hídrica em função da época de avaliação; conforme a equação de regressão obteve o acréscimo de 11,3, 11,1, 11, 10,9, e 11,1%, para cada aumento de 30 dias, para as reposições hídricas de 0, 25, 50, 75 e 100%, respectivamente, as quais foram praticamente equivalentes. Levando em consideração a menor (90 dias) e a maior área foliar (330 dias) nas reposições hídricas de 0, 25, 50, 75 e 100%, verifica-se as diferenças na área foliar em relação às épocas de avaliações de 90, 88, 87,8, 87 e 88,6%, respectivamente. A área foliar também indicou o acréscimo de 21,1, 21,4, 24,5, 23,6 e 26,9 cm² dia⁻¹, para as reposições hídricas de 0, 25, 50, 75 e 100%, indicando a redução

na área foliar de até 20,5% e de até 12% para reposições hídricas inferiores a 25% e para RH entre 25 e 75%, respectivamente.

O desenvolvimento da área foliar é crítico para o estabelecimento da cultura e o fechamento do dossel e maximização da interceptação da radiação em busca da produtividade da cultura (SINCLAIR et al., 2004). Estudos mostraram que a área foliar da cana-de-açúcar aumenta no período de grande crescimento da cultura, (TEIXEIRA et al., 2012).

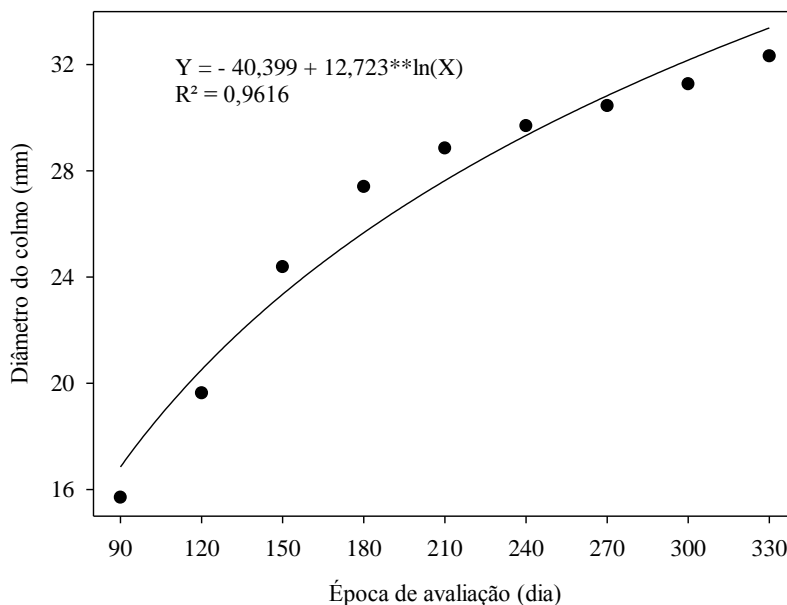


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 29. Área foliar em função da época de avaliação para cana-soca.

O diâmetro de colmo em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao crescimento logarítmico, com R^2 de 96,16%. Conforme verificado em cana-planta, também em cana-soca até aos 150 dias, mais da metade do diâmetro total já foi alcançado (69,9%), de tal modo que em cana-soca se tem o crescimento inicial mais lento do que o verificado em cana-planta, entretanto o crescimento final em cana-soca se torna mais rápido, com o acréscimo médio entre 180 e 330 dias de $0,05 \text{ mm dia}^{-1}$, ao passo que em cana-planta esse acréscimo é de apenas $0,03 \text{ mm dia}^{-1}$. Foi constatado o aumento de 49,5% no diâmetro de colmo das plantas de cana-de-açúcar entre 90 e 330 dias (Figura 30). O aumento do diâmetro dos colmos em conformidade com as épocas de avaliação foi constatado também por outros autores, entretanto, seguido da redução desse parâmetro morfológico a partir dos 291 dias após o corte, (OLIVEIRA et al., 2010; ARANTES,

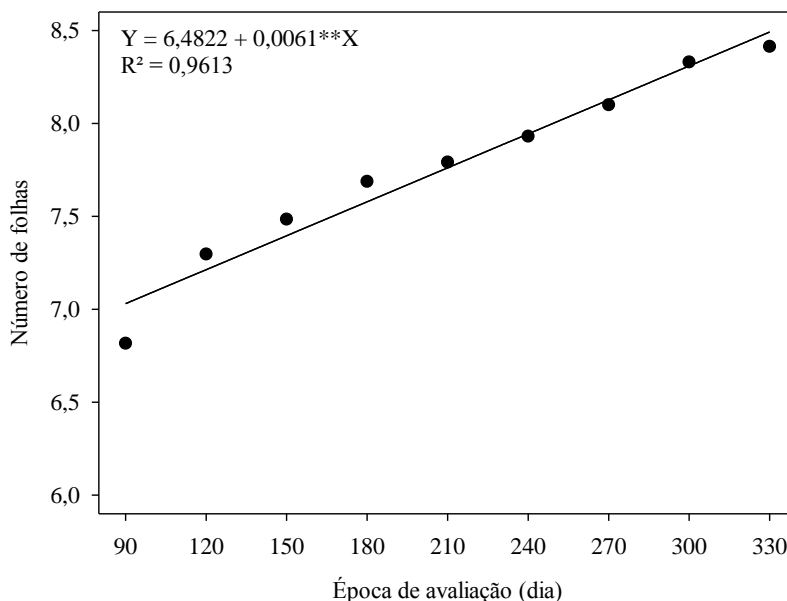
2012; RHEIN, 2012), fato que destoou dos resultados encontrados, pois não se observaram decréscimos no diâmetro do colmo ao longo do tempo, tanto para cana-soca quanto para cana-planta.



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

Figura 30. Diâmetro do colmo em função da época de avaliação para cana-soca.

O número de folhas em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao crescimento linear, com R^2 de 96,13%. A Figura 31 apresenta o número de folhas da cana-de-açúcar em cana-soca; conforme a equação de regressão obteve o acréscimo de 1,1%, para cada aumento de 30 dias. Levando em consideração o menor (90 dias) e o maior número de folhas (330 dias), observa-se as diferenças no número de folhas em relação às épocas de avaliação de 17,2%. O número de folhas também indicou o acréscimo de $0,006 \text{ dia}^{-1}$, totalizando aos 330 dias o número de folhas de aproximadamente 7. As cultivares RB965917 e RB965902, mostraram médias de 5,87 e 6 no número de folhas respectivamente, à medida que as cultivares RB855453 e RB92579 com médias mais baixas de 4,62 e 4,5 no número de folhas, respectivamente; comportamento semelhante também foi encontrado em outras cultivares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico (HOLANDA, 2012; PINCELLI 2010;).

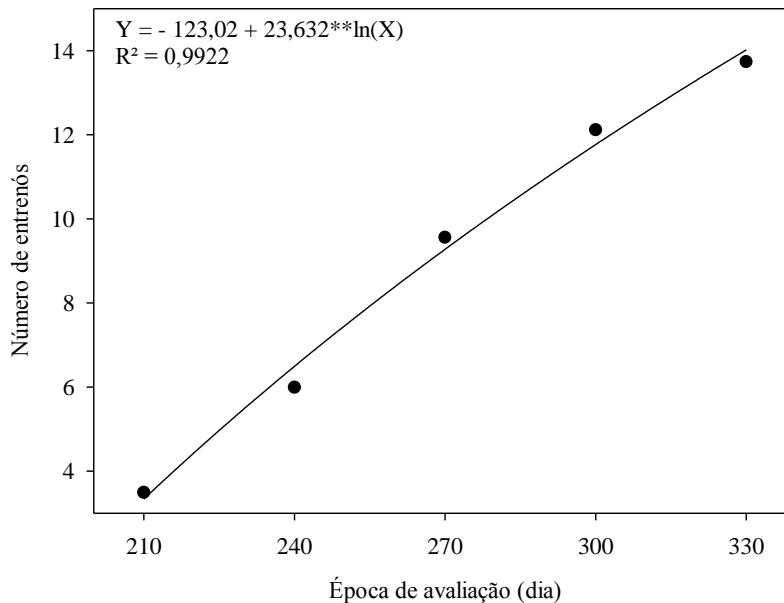


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 31. Número de folhas em função da época de avaliação para cana-soca.

O número de entrenós em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao crescimento logarítmico, com R^2 de 99,22%, conseqüentemente apenas 0,78% das variações do número de entrenós não são explicadas pela variação da época de avaliação; em cana-soca até aos 270 dias, mais da metade do número de entrenós total já foi alcançado (66,2%), deste modo, tem-se o incremento inicial mais rápido no número de entrenós, entretanto essa elevação no número de entrenós final se torna mais lenta, com o acréscimo médio entre 270 e 330 dias no número de entrenós de $0,08 \text{ dia}^{-1}$; também se constatou o aumento de 76,2% no número de entrenós das plantas de cana-de-açúcar entre 90 e 330 dias em cana-soca (Figura 32).

O número de entrenós ao se adequar aos dois modelos diferentes, em cana-planta (sigmoide) e cana-soca (logarítmico) em função da época de avaliação e conseqüentemente ao apresentar comportamentos destoantes, indica algo bastante relevante, no que diz respeito a produtividade, para assim, de tal modo obter a melhor compreensão a respeito da forma com que ocorre a redução na produtividade de cana-planta para cana-soca, isto porque, o número de entrenós se trata de um dos fatores determinantes da produtividade.



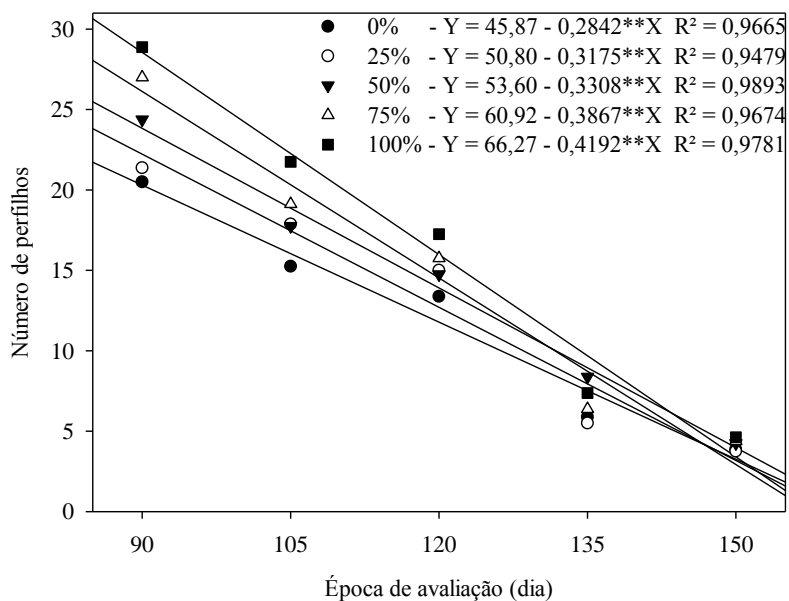
** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 32. Número de entrenós em função da época de avaliação para cana-soca.

O número de perfilhos em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao modelo linear para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, com R^2 variando de 94 a 99%.

O número de perfilhos em função da época de avaliação, entre os 90 e 150 dias, demonstrou o maior decréscimo principalmente quando sob a reposição hídrica de 75 e 100%, por causa do maior perfilhamento ocorrido aos 90 dias, deste modo as diferenças no número de perfilhos foram de 84, 85,7, 83,3, 88,8 e 88,1% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; já entre os 90 e 120 dias as diferenças no número de perfilhos foram de 42, 42,9, 41,6, 44,4 e 44% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; enquanto entre os 135 e 150 dias as diferenças no número de perfilhos foram de 56,8, 60, 55,5, 66,5 e 64,9% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, respectivamente.

Para cada aumento de 15 dias no número de perfilhos, verificou-se o decréscimo percentual de 21, 21,4, 20,8, 22,2 e 22%, demonstrando desta forma o decréscimo diário no número de perfilhos de 0,28, 0,31, 0,33, 0,39 e 0,42 dia^{-1} (Figura 33). A redução do número de perfilhos ao longo do desenvolvimento da cana-de-açúcar também foi observada em outras pesquisas (OLIVEIRA et al., 2010; URIBE, 2010; ARANTES, 2012; RHEIN, 2012).

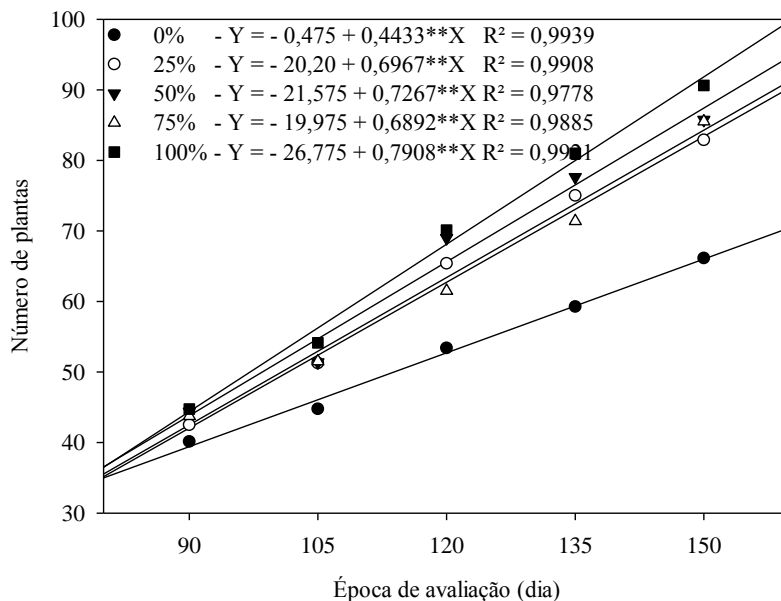


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 33. Número de perfilhos em função da época de avaliação para cana-soca.

O número de plantas em função da época de avaliação, em cana-soca se adequou ao crescimento linear para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100%, com R^2 acima de 97%. O número de plantas em função da época de avaliação, entre 90 e 150 dias, demonstrou os maiores acréscimos de maneira geral quando sob irrigação, deste modo as diferenças no número de plantas foram de 40,3, 49,6, 49,9, 49,6 e 51,7% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; confirmando assim o efeito favorável da irrigação no número de plantas, sobretudo após os 90 dias, em que se pode verificar o menor incremento no número de plantas na reposição hídrica de 0% ao longo das épocas de avaliações. Já entre os 120 e 150 dias as diferenças no número de plantas foram de 20,1, 24,8, 24,9, 24,8 e 25,8% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente; enquanto entre os 135 e 150 dias as diferenças no número de plantas foram de 10,1, 12,4, 12,5, 12,4 e 12,9% para a reposição hídrica de 0, 25, 50, 75 e 100% respectivamente (Figura 34).

Para cada aumento de 15 dias no número de plantas, verificou-se o acréscimo percentual de 10,1, 12,4, 12,5, 12,4 e 12,9%, demonstrando desta forma o acréscimo diário no número de plantas de 0,44, 0,7, 0,73, 0,69 e 0,8 dia^{-1} .

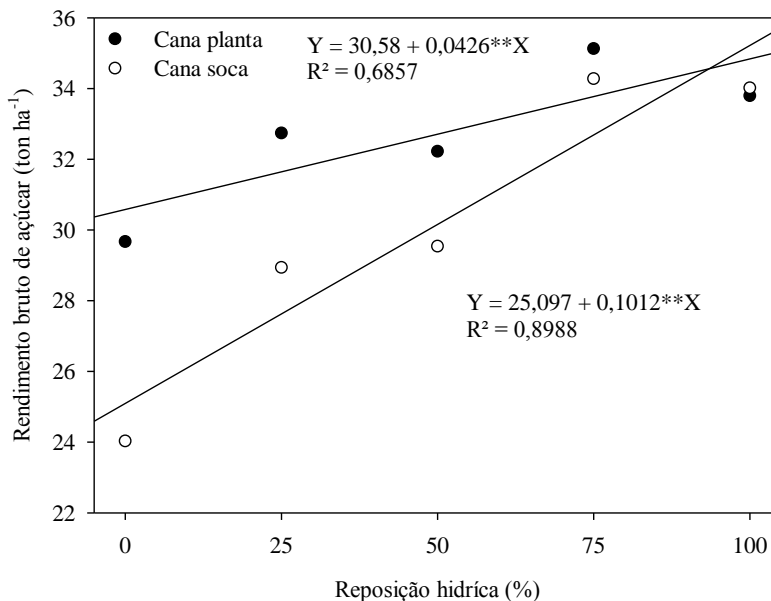


** e * significativo respectivamente a ($p < 0,01$ e $0,05$) segundo teste F.

Figura 34. Número de plantas em função da época de avaliação para cana-soca.

A análise de regressão evidenciou um comportamento linear para o rendimento bruto de açúcar em função da reposição hídrica ($R^2 > 68\%$) tanto para cana-planta quanto para cana-soca; conseqüentemente o máximo rendimento bruto de açúcar foi obtido com a reposição hídrica de 100%, indicando a diferença de 12,2 e 28,7%, em relação ao manejo de sequeiro (RH 0%) para cana-planta e soca respectivamente (Figura 35).

O rendimento bruto de açúcar verificado na reposição hídrica de 75 e 100% foi de 33,8 e 34,8 ton ha^{-1} (cana-planta) e de 32,7 e 35,2 ton ha^{-1} (cana-soca). Sob condições de irrigação plena Maschio (2011) em estudo com 24 variedades, observou a variação no rendimento bruto de açúcar na ordem de 19,5 a 27,5 t ha^{-1} ; a medida que para as variedades RB855453 (22,0 t ha^{-1}), CTC8 (21,6 t ha^{-1}), RB925211 (20,6 t ha^{-1}), CTC14 (20,4 t ha^{-1}) e SP81-3250 (19,5 t ha^{-1}), observaram menores rendimento bruto de açúcar.



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

Figura 35. Rendimento bruto de açúcar em função da reposição hídrica para cana-planta e cana-soca.

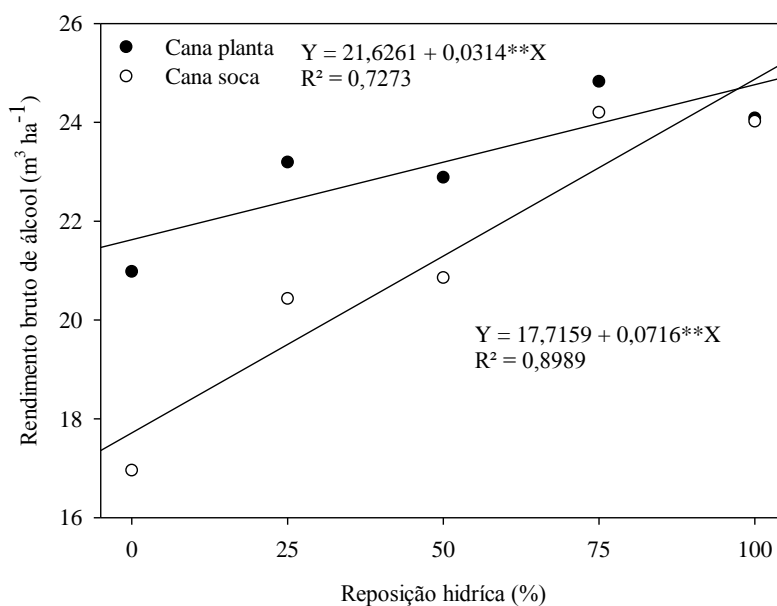
O rendimento bruto de açúcar conforme a equação de regressão obteve o acréscimo de 3 e 7,2% para cada aumento de 25% na reposição hídrica, demonstrando desta forma o acréscimo no rendimento bruto de açúcar de 0,04 e 0,1 ton ha⁻¹ para cada aumento de 1% na reposição hídrica em cana-planta e cana-soca, respectivamente.

A elevada diferença percentual principalmente verificada em cana-soca, sendo esta em torno de 2 vezes maior a observada em cana-planta, demonstra a importância da irrigação e o seu relevante efeito sobretudo em cana-soca, para a obtenção de maiores rendimentos e logo promovendo maior retorno econômico, sem a necessidade da expansão da fronteira agrícola.

A análise de regressão evidenciou um comportamento linear para o rendimento bruto de álcool em função da reposição hídrica ($R^2 > 72\%$) tanto para cana-planta quanto para cana-soca; conseqüentemente o máximo rendimento bruto de álcool foi obtido com a reposição hídrica de 100%, indicando a diferença de 12,7 e 28,8% para o rendimento bruto de álcool, em relação ao manejo de sequeiro (RH 0%) para cana-planta e soca respectivamente (Figura 36).

O rendimento bruto de álcool conforme a equação de regressão obteve o acréscimo de 3,2 e 7,2% para cada aumento de 25% na reposição hídrica, demonstrando desta forma o acréscimo no rendimento bruto de álcool de 0,03 e 0,07 m³ ha⁻¹ para cada aumento de 1% na reposição hídrica em cana-planta e cana-soca respectivamente.

O rendimento bruto de álcool máximo foi de 24,8 e 24,9 m³ ha⁻¹ em cana-planta e cana-soca, na reposição hídrica de 100%, ao passo que o rendimento bruto de álcool mínimo foi de 21,6 e 17,7 m³ ha⁻¹, em cana-planta e cana-soca, na reposição hídrica de 0%. Azevedo (2002) obteve, em pesquisa com cana-planta, o rendimento bruto de álcool máximo de 11,5 m³ ha⁻¹ com o total de água aplicada de 1043 mm, e o rendimento bruto mínimo de álcool de 4,8 m³ ha⁻¹ com o total de água aplicada de 609 mm.



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

Figura 36. Rendimento bruto de álcool em função da reposição hídrica para cana-planta e cana-soca.

Carvalho et al. (2009) também verificaram aumento no rendimento bruto de açúcar, assim como na produtividade dos colmos e no rendimento bruto de álcool, com o aumento do nível de irrigação.

A intersecção do rendimento bruto de açúcar, entre cana-soca e cana-planta ocorreu na reposição hídrica de 93%, ao passo que a intersecção do rendimento bruto de álcool ocorreu na reposição hídrica de 97%, deste modo o rendimento bruto de açúcar e álcool para as reposições hídricas inferiores a 93 e 97%, demonstraram valores de rendimento maiores em cana-planta, tornando essa diferença mais expressiva com o decréscimo da reposição hídrica.

6.0 CONCLUSÕES

O máximo valor tanto para cana-planta quanto para cana-soca de altura de planta, área foliar, diâmetro de colmo, número de entrenós, número de folhas, número de perfilhos e número de plantas da cana-de-açúcar foram verificados na reposição hídrica de 100%.

Para o diâmetro de colmo em cana-planta e cana-soca, verifica-se que até aos 150 dias, mais da metade do diâmetro total já foi alcançado (76,2 e 69,9%); em cana-soca se tem o crescimento inicial mais lento do que o verificado em cana-planta, entretanto o crescimento final em cana-soca se torna mais rápido, com o acréscimo médio entre 180 e 330 dias de $0,05 \text{ mm dia}^{-1}$, ao passo que em cana-planta esse acréscimo é de apenas $0,03 \text{ mm dia}^{-1}$.

Para o número de entrenós em cana-planta, verifica-se três fases de crescimento, a primeira lenta ocorrendo entre 210 e 240 dias, a segunda extremamente rápida aos 270 dias e a terceira novamente lenta entre 300 e 330 dias, adequando-se ao modelo sigmoide. Em cana-soca até os 270 dias mais da metade do número de entrenós total já foi alcançado (66,2%), de tal modo que se tem o incremento inicial mais rápido no número de entrenós, entretanto essa elevação no número de entrenós final se torna progressivamente mais lenta, adequando-se ao modelo logaritmo.

A reposição hídrica em cana-soca tem efeito sobre o perfilhamento especialmente aos 90 e 105 dias.

O rendimento bruto de açúcar verificado na reposição hídrica de 75 e 100% foi de 33,8 e 34,8 ton ha^{-1} (cana-planta) e de 32,7 e 35,2 ton ha^{-1} (cana-soca).

O rendimento bruto de álcool máximo foi de 24,8 e 24,9 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em cana-planta e cana-soca, na reposição hídrica de 100%, ao passo que o rendimento bruto de álcool mínimo foi de 21,6 e 17,7 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em cana-planta e cana-soca, na reposição hídrica de 0%.

O rendimento bruto de açúcar e álcool para as reposições hídricas inferiores a 93 e 97%, demonstraram valores de rendimento maiores em cana-planta do que em cana-soca, tornando essa diferença mais expressiva com o decréscimo na reposição hídrica.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para cana-de -açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de- açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42 -55.

ANUÁRIO DA CANA. **Ethanol guide**. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br>. Acesso em 10/01/14. 2007, p.1.

ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. Tese Doutorado. Campina Grande: UFCG, 2002. 112p.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. Tese Doutorado. Campina Grande: UFCG, 2002. 112p.

AZEVEDO, H.M. **Irrigação localizada**. Informe Agropecuário, v.12, n.139, p.40-53, julho 1986.

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**, Campina Grande, v.16, n.9, p.952–958, 2012

BAR-YOSEF, B.; SAGIV, B.; MARKOVITCH, T. Sweet corn response to surface and subsurface trickle phosphorus fertigation. **Agronomy Journal**, California, v.81, n.3, p.443-7, 1989.

BATISTA, E. Â. R.; TEIXEIRA, M. B. **Representação esquemática do plantio em “W” e da disposição dos tubos gotejadores nos tratamentos com reposição hídrica**. IFGoiano-Campus Rio Verde. pg.1. 2013.

- BLAKE, G.R., HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. Methods of soil analysis. **Physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.363-375.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana de-açúcar no ciclo de cana-planta**. Tese, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007, 112 p.
- BUCKS, D. A.; ERIE, L. J.; FRENCH, O. F.; NAKAYAMA, F. S.; PEW, W. D. Subsurface trickle irrigation management with multiple cropping. **Trasactions of ASAE**, v.24, n.6, p.1482-1489, 1981.
- BUENO JUNIOR M. V. Variação de teores de fósforo disponível em solos cultivados com cafeeiros na região de Muzambinho. 2008. 29f. – **Trabalho de Conclusão de Curso** (TCC do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho Muzambinho/MG, 2008.
- CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió: Sindicato da Indústria e do Álcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p.
- CARLIN, S.D.; SILVA, M.A.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 296, p. 457-466, 2004.
- CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, C. T. S.; R; GOMES, R. F. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, PE, UFRPE, v. 4, n .1, p.72 -77, 2009.
- CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, C. T. S.; R; GOMES, R. F. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, PE, UFRPE, v. 4, n .1, p.72 -77, 2009.
- CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: simpósio internacional de fisiologia da cana-de-açúcar, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000, p.1-9.
- COLETI, J.T.; STUPIELLO, J.J. Plantio de cana-de-açúcar. In. SEGATO, S.V. (coord.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p.139-153.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013**. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2013. pg.19.

- COSTA, M. C. G. **Eficiência agrônômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2001. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, 2001, 79 f.
- COSTA, M. C. G. et al. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1503-1514, nov./dez. 2007.
- COSTA, M.C.G. **Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 88 p. Tese Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.
- DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, 2002. p.29-34.
- DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, 2008. p.1-11.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana -de -açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.283 –288, 2006.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana -de -açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.283 –288, 2006.
- DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Israel: **International Irrigation Information Center (IIIC)**. (IIIC Publication n 9), 1985. 95p.
- DIAS NETO, A.F. **Aprimoramento de um mecanismo dosador de rebolos de cana-de-açúcar para o plantio mecanizado**. 2000. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000197851&fd=y>. Acesso em 20 fev. 2014, 115 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. **Irrigation and Drainage Paper**, 33, 193p.

- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 2013. 306p.
- 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 computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FISCHER, J.R. **Water and nutrient requirements for drip-irrigated vegetables in humid regions**. (Southern Cooperative Series Bulletin, 363). Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences/Univ. of Florida, 1992. 17p.
- FREIRE, F. J. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. Tese – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001, 87 f.
- GADDANAKERI, S.A.; KAMBAR, N.S.; BIRADAR, P.S.; NADGOUDA, B.T. Response of Shy- Tillering Sugarcane Variety CoC-671 to Wide-row Spacing and Clipping. Karnataka **Journal of Agricultural Sciences**, Bijapur-India, v.20, n.3, p.598-599, 2007.
- 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.
- GHANNOUM, O. C4 Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Londres, v. 103, p. 635-644, 2008.
- GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2003. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003, 65 f.
- GORNAT, B.; NOGUEIRA, L.C. **Avaliação da economia de água com irrigação localizada convencional e subterrânea em fruteiras tropicais**. 2003. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/p2-4.htm>>. Acesso em 15 jun. 2014.

- GUIMARÃES, A. C. R. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Sacchaum spp.*) submetidas a déficit hídrico**. 2011. Dissertação - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011, 66 p.
- HARTZ, T.K. Water management in drip-irrigated vegetable production. In: American society horticultural science seminar, 1994, Lexington. **Proceedings...** [S.l.]: American Society for Horticultural Science, 1994. p. 12-15.
- HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v. 17, p. 32-34, 1999.
- HERNANDEZ, M. G. R. Proteção de gotejadores a obstrução por intrusão radicular em irrigação subsuperficial de figueiras. 2010. 135 f. **Tese** (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria.
- HOLANDA, L. A. Resposta varietal da cana-de-açúcar à deficiência hídrica, durante o desenvolvimento inicial em um latossolo vermelho distroférico. Botucatu, 2012. 56 p. Dissertação (Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- INMAN - BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 107 -122, 2004.
- 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.
- JADOSKI, C.J.; TOPPA, B.E.V.; JULIANETTI, A.; HULSBOF, T.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar, **Pesquisa aplicada e agrotecnologia**, v3, n2 Mai-Ago 2010, p.15.
- JUAN, J.A.M.S. **Riego por goteo: teoría y práctica**. 4ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 302p.
- KELLER, J.; BLIESNER, I.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes, 2004. 531p.
- LIMA, R. M. P. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar quanto à resistência e tolerância ao raquitismo-da-soqueira**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes-RJ, abril – 2008.

- LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos.** Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. 171f.
- MACHADO, E.C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar: crescimento. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Campinas: Fundação Cargil, 1987. v. 1.
- MANFRINATO, H.A. **A irrigação por gotejamento: influência sobre as relações solo-água.** Irrigação e Tecnologia Moderna, n.22, p. 21-25, 1985.
- MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento.** Dissertação – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005, 272 p.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Tomateiro para processamento industrial: Irrigação e fertirrigação por gotejamento.** DF, Embrapa CNPH, 2002, 32p.
- MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.Piracicaba, 2011. 87 p.
- MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.Piracicaba, 2011. 87 p.
- MATTIOLI, C.S.; FRIZZONE, J.A.; PAES, V.P.S.; FOLEGATTI, M.V. Aumento de produtividade da cultura da cana-de-açúcar sob irrigação complementar na região de Ribeirão Preto – SP. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.2, p.16-18.
- MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de - açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295 -301, 2001.
- MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. M. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.
- MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. M. Doses de adubação nitrogenada e potássica em

cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar, In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2006. p. 11-18.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, v.12, p.513-522, 1976.

NGUYENA, P.H.L., KURUPARANA, P., VISVANATHAN, C. Anaerobic digestion of municipal solid waste as a treatment prior to landfill. **Bioresource Technology**, 98(2): 380-387. 2007.

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

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

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J.; Crescimento e produção de variedades de cana-de - açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 1, p. 56, 2011.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J.; Crescimento e produção de variedades de cana-de - açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 1, p. 56, 2011.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.

OLIVEIRA, M. W.; MENDES, L. C., BARBOSA, M. H. P., VITTI, A. C., FARIA, R. O. Avaliação do potencial produtivo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar. **Anais...** In: XXV Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de

- plantas; reunião brasileira sobre micorrizas, vii simpósio brasileiro de microbiologia do solo, IV Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Rio de Janeiro, v. 1, p. 95a, 2002.
- OLIVEIRA, M. W.; OLIVEIRA, T. B. A.; CHAVES, J. B. P.; MENDES, L. C.; GAVA, G. J. C. Tecnologia e custo de produção de cana-de-açúcar utilizada na alimentação de vacas leiteiras. Brasília. **Anais...** In: Zootec 2004.
- OLIVEIRA, M. W.; OLIVEIRA, T. B. A.; CHAVES, J. B. P.; MENDES, L. C.; GAVA, G. J. C. Tecnologia e custo de produção de cana-de-açúcar utilizada na alimentação de vacas leiteiras. Brasília. **Anais...** In: Zootec 2004.
- OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOERLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, cana-planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agrária**, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.
- ORON, G.; DEMALACH, J.; HOFFMAN, Z.; CIBOTARU, R. Subsurface microirrigation with effluent. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.117, n.1, p.25-37, 1991.
- PESSAN, E. B.; SCARTOZZONI, E. **Plantio Mecanizado de Cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) Uma abordagem geral**. 2012. Curso de Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão - Fatec Shunji Nishimura, Pompéia, 2012.
- PINCELLI, R P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana -de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. Dissertação - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. 65f.
- PINCELLI, R. P. **Tolerância a deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana -de-açúcar na presença e ausência de boro**. Tese - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010. 69f.
- RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 2, p. 83 -89, 2000.
- RAO, C. M.; KUMAR, M. V.; REDDY, L. K. Management of sugarcane clones under limited moisture situations (drought) at formative stage. **Indian Sugar**, Nova Delhi, p. 949- 953, 2005.

RHEIN, A. F. L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento.** (Tese) Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu–SP. Dezembro, 2012, 117p.

RHEIN, A. F. L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento.** (Tese) Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu–SP. Dezembro, 2012, 117p.

ROBERTSON, M. J.; INMAN -BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, p. 211 -227, 1999.

ROSENFELD, U. **Período crítico de deficiência hídrica para a cana-planta em cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** Dissertação – ESALQ, Piracicaba. 1989. 89p.

SALASSIER, B. **Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar.** 2006. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizv3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf> Acesso em: 20 fev. 2014.

SCHLITTLER, L. A. F. S. **Engenharia de um bioprocesso para a produção de etanol de cana-de-açúcar.** Dissertação. Rio Janeiro: Escola de Química, Universidade Federal do Rio Janeiro, 2006.

SEBRAE. **Ponto de Partida para Início de Negócio - Cultivo de cana-de-açúcar.** Serviço de apoio às micro e pequenas empresas de Minas Gerais. Minas Gerais, 2007. Disponível em: <http://www.sebraemg.com.br/geral/busca_1st.aspx> Acesso em: 01 jan. 2014.

SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; ZONTA, E.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo de N e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema – RJ. **Revista Universitária Rural** – Série Ciências da Vida, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2004.

SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; ZONTA, E.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo de N e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema – RJ. **Revista Universitária Rural** – Série Ciências da Vida, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2004.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M. T.; PINCELLI, R. P. Fenologia da cana-de-açúcar. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R.; SORATO, R. P (Ed.). **Tópicos em ecofisiologia da cana -de-açúcar**. Botucatu: FEPAF – Fundação de Estudos Agrícolas e Florestais, 2010. p. 8-21.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 620-627, 2008.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; MOURA, L. M. F.; MOURA, L. C.; TEIXEIRA, M. B. Crescimento da cana-de-açúcar sob aplicação de nitrogênio via gotejamento subsuperficial. Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.8, nº.1, p. 1 - 11, 2014.

SINCLAIR, T. R. ; GILBERT, R. A. ; PERDOMO, R. E. ; SHINE, J. R. ; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 88, n. 2-3, p. 171-178, 2004.

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

STAUT, L. A. **Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/CanaSolo/index.htm> Acesso em: 02 maio. 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3º ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 798p.

TEIXEIRA, A. H. de C.; TONIETTO, J.; PEREIRA, G. E.; ANGELOTTI, F. Delimitação agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p. 399-407, 2012.

UNICA – **União da Agroindústria Canavieira de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=UNICA%20em%20açã&SubSecao=cana-de-açúcar>>. Acesso em 10/01/14. 2010.

UNICA – **União da Agroindústria Canavieira de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=UNICA%20em%20açã&SubSecao=cana-de-açúcar>>. Acesso em 10/01/14. 2008.

- URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa do acúmulo de biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com diferentes doses de N-fertilizante.** 2010. 67 p. Tese. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa do acúmulo de biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com diferentes doses de N-fertilizante.** 2010. 67 p. Tese. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- van GENUCHTEN M.T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **RETREC**, 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.
- VELINI, E.D.; FREDERICO, L.A.; MORELLI, J.L.; KOJIMA, K. Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência, sobre o crescimento e produtividade de soqueiras de nove cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB, 1993, Águas de São Pedro, SP. **Anais...** Águas de São Pedro: STAB, 1993, p.125-128.
- VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. **Produção brasileira de cana-de - açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso.** Informações Econômicas, São Paulo, v. 38, n. 4, 2008.
- VILELA, L.; SILVA, J.E. da; RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G. de. Potássio. In: GOEDERT, W.J. **Solos do cerrados; tecnologias e estratégias de manejo.** Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1986. p.203-222.
- VITORELLO, V.A.; CAPALDI, F.R.; STEFANUTO, V.A. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. **Braz. J. Plant Physiol.** 17:129-143. 2005.
- 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.