UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DE CANA-DE-AÇÚCAR, SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, NA REGIÃO DE PENÁPOLIS - SP

CICERO TEIXEIRA SILVA COSTA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
Setembro - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DE CANA-DE-AÇÚCAR, SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, NA REGIÃO DE PENÁPOLIS - SP

CICERO TEIXEIRA SILVA COSTA

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

Co-Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
Setembro - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Costa, Cicero Teixeira Silva, 1981-
C837c Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis - SP / Cicero Teixeira Silva Costa. - Botucatu : [s.n.], 2012
xiv, 102 f. : il. color., gráfs., tabs., fots.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012

Orientador: João Carlos Cury Saad
Co-orientador: Hélio Grassi Filho
Inclui bibliografia

1. Análise de crescimento. 2. Eficiência no uso da água. 3. Gotejamento. 4. Matéria seca. 5. Viabilidade econômica. I. Saad, João Carlos Cury. II. Grassi Filho, Hélio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DE CANA-DE-AÇÚCAR, SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, NA REGIÃO DE PENÁPOLIS (SP)"**

ALUNO: CICERO TEIXEIRA SILVA COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

PROF. DR. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

PROF. DR. RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE

Data da Realização: 25 de setembro de 2012

A Deus

À minha mãe que apesar das dificuldades nunca mediu esforços para que eu e minhas irmãs tivéssemos acesso à educação.

As minhas irmãs Simone e Silvânia pelo apoio e incentivo nesta caminhada.

A minha segunda mãe, Suely Teixeira que sempre me apoiou .

As minhas sobrinhas Nayanne Maria e Maria Dhebora.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, supremo Arquiteto do Universo por toda graça alcançada;
Aos colegas de turma: Valber, Patrícia, Ricardo e André pelo companheirismo e pela boa convivência que tivemos durante o curso;
Aos meus familiares por tudo que fizeram;
Ao Professor Dr. João Carlos Cury Saad, pela orientação, incentivo, confiança, dedicação, companheirismo e conhecimentos repassados;
Ao Professor Dr. Hélio Grassi Filho pelas dicas e sugestões apresentadas na condução do trabalho;
Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem;
A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida;
Aos Professores Dr$_s$. José Leonaldo de Souza e Iedo Teodoro pela recepção, apoio e incentivo no meio acadêmico;
Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA-UFSCAR), pela doação da semente;
Ao Sr. Hélio Moreira e família pelo apoio na condução do experimento em sua propriedade;
Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Gilberto, Djair, Mauri e Rita;
Aos funcionários da manutenção, Sr$_s$. Marcos e Mauro, pela ajuda com materiais utilizados na implantação do projeto de irrigação;
Aos funcionários das fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) Mário e sua equipe;
À UNESP, “casarão do sofrimento” e do conhecimento.

A todos, meus sinceros agradecimentos

BIOGRAFIA DO AUTOR

CICERO TEIXEIRA SILVA COSTA, filho de José Cicero Costa e Maria Teixeira Silva Costa, nascido em Maceió (AL) em 1981.

Cursou o primeiro Grau na Escola Municipal Nossa Senhora Mãe do Povo, em Tanque D'Arca (AL), e em seguida ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Satuba (AL) onde despertou interesse pelas ciências agrárias.

Ao concluir o curso técnico em 2000, ingressou na iniciativa privada por 2 anos.

Em junho de 2002 ingressou na Universidade Federal de Alagoas, para cursar Agronomia, recebendo o título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2007.

Durante sua vida acadêmica, desenvolveu atividades de monitoria na disciplina de Irrigação e Drenagem por dois anos consecutivos e participou do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) pela Universidade Federal de Alagoas, onde despertou forte interesse pela pesquisa científica.

Fez estágio no Departamento de Solos e Irrigação da Universidade Federal de Alagoas, nos anos de 2003 e 2006.

Em março de 2007, iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, concluindo em Fevereiro de 2009.

Em março de 2009, iniciou o Curso de Doutorado pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Campus Botucatu.

SUMÁRIO

Páginas
LISTA DE FIGURAS XI
LISTA DE TABELAS XIII
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS XV
RESUMO 1
SUMMARY 3
1 INTRODUÇÃO 5
2 REVISÃO DE LITERATURA 8
2.1 Histórico da cana-de-açúcar 8
2.2 Ecofisiologia da cana-de-açúcar 9
2.3 Perfilhamento da cana-de-açúcar 11
2.4 Crescimento da cana-de-açúcar 13
2.5 Maturação da cana-de-açúcar 15
2.6 Metabolismo fisiológico de plantas C_4 16
2.7 O déficit hídrico e os aspectos fisiológicos da cana-de-açúcar 17
2.8 Irrigação em cana-de-açúcar 19
2.9 Gotejamento subsuperficial 21
2.10 Análise econômica da cana-de-açúcar irrigada 23
2.11 Função de produção 23
2.12 Eficiência no uso da água (EUA) 25

3 MATERIAL E MÉTODOS 27
3.1 Localização e características da área experimental 27
3.2 Preparo de solo, plantio e adubação 29
3.3 Controle das plantas daninhas 32
3.4 Delineamento experimental e tratamentos 32
3.5 Características agronômicas e tecnológicas das variedades 33
3.5.1 RB965902 (RB855536 x RB855453) 33
3.5.2 RB855453 (TUC71-7 X ?) 33
3.6 Implantação do sistema de irrigação 34
3.7 Manejo da irrigação 34
3.8 Variáveis analisadas 37
3.9 Matéria seca e produtividade agrícola 38
3.10 Análise econômica 39

3.11 Análise estatística 40

4 CAPITULO 1: CRESCIMENTO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, NO ESTADO DE SÃO PAULO 41

4.1 Resumo 41

4.2 Abstract 42

4.3 Introdução 42

4.4 Material e Métodos 44

4.5 Resultados e Discussão 47

4.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas 47

4.5.2 Perfilhamento da cana-de-açúcar 49

4.5.3 Altura de colmos 52

4.5.4 Índice de área foliar (IAF) 56

4.5.5 Diâmetro de colmo 58

4.5.6 Produtividade versus variáveis de crescimento 60

4.5.7 Análise estatística dos componentes de produção 61

4.6 Conclusões 66

4.7 Referências 66

5 CAPITULO 2: VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, SUBMETIDAS A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, NO ESTADO DE SÃO PAULO 70

5.1 Resumo 70

5.2 Abstract 71

5.3 Introdução..... 71

5.4 Material e Métodos 73

5.5 Resultados e Discussão 79

5.5.1 Precipitação, irrigação e produtividade agrícola 79

5.5.2 Incremento na produtividade e receitas 81

5.5.3 Taxa de crescimento mensal da produção 82

5.5.4 Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação e da precipitação efetiva 84

5.5.5 Eficiência no uso da água 87

5.6 Conclusões 88

5.7 Referências 89

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 92

7. REFERÊNCIAS 93

LISTA DE FIGURAS

Páginas

FIGURA 1 Precipitação pluvial média mensal ocorrida entre os anos 1990 a 2011 na região de Penápolis - SP 28
FIGURA 2 Vista parcial da área experimental após o nivelamento 29
FIGURA 3 Abertura de sulcos (à esquerda) e sulcos prontos (à direita) 30
FIGURA 4 Sistema de plantio da cana-de-açúcar 31
FIGURA 5 Instalação das mangueiras gotejadoras 32
FIGURA 6 Características morfológicas de variedades de cana-de-açúcar RB965902 (esquerda) e RB855453 (direita) 33
FIGURA 7 Vista dos cavaletes e dos hidrômetros 34
FIGURA 8 Vista dos emissores do tipo "in line" (esquerda) e distribuição das mangueiras no suco (direita) ……..... 35
FIGURA 9 Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper ….. 38
FIGURA 10 Pesagem da cana-de-açúcar no campo 39

CAPITULO 1

FIGURA 1 Número de plantas por metro linear de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 50
FIGURA 2 Altura média de colmos (cm), de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 53
FIGURA 3 IAF (cm^2) de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 56
FIGURA 4 Diâmetro médio do colmo (mm) de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 59
FIGURA 5 Relação entre as variáveis de crescimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação.

L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 60

CAPITULO 2

FIGURA 1 Taxa de crescimento mensal da produção de variedades de cana-de-açúcar e produtividade agrícola, em função das lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 83

FIGURA 2 Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar, em função do consumo hídrico (curva de regressão linear e polinomial). L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc 84

FIGURA 3 Eficiência do uso da água (EUA), de variedades de cana-de-açúcar, em milímetros de água consumida por tonelada de cana produzida (mm t^{-1}), e produtividade agrícola (t ha^{-1}), em função das lâminas de irrigação (I) e da precipitação pluvial efetiva ($P_{efetiva}$) 87

LISTA DE TABELAS

Páginas

TABELA 1 Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes) . 28
TABELA 2 Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes).. 28
TABELA 3 Características físicas do solo da área experimental em diferentes profundidades 29
TABELA 4 Valores de kc para a cultura da cana-de-açúcar em diversas fases de desenvolvimento, no ciclo da cana-planta 36
TABELA 5 Precipitação pluvial (P) e lâminas de irrigação, em cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, entre maio de 2010 e de 2011..... 37

CAPITULO 1

TABELA 1 Características químicas do solo da área experimental 44
TABELA 2 Valores de Kc para a cultura da cana-de-açúcar em diversas fases de desenvolvimento, no primeiro ciclo de cultivo 46
TABELA 3 Distribuição da precipitação pluvial, irrigação e da temperatura média mensal do ar em cana-planta entre maio de 2010 e de 2011..... 48
TABELA 4 Resultados da análise de variância (valores de *F*) para os componentes de produção, teor de água na folha (TAF) e na planta (TAP) de variedades de cana-de-açúcar submetidas a lâminas de irrigação 61
TABELA 5 Resultado do desdobramento da interação entre as variedades e os níveis de irrigação para a matéria seca (MS) e teor de água na planta (TAP) 64

CAPITULO 2

TABELA 1 Características químicas do solo da área experimental 73
TABELA 2 Valores de Kc para a cultura da cana-de-açúcar em diversas fases de desenvolvimento, em primeiro ciclo de cultivo 75
TABELA 3 Estimativa anual do custo de implantação e manutenção de um hectare de cana-de-açúcar cultivada em sequeiro e irrigado 76
TABELA 4 Valores de P_p, C_i, C_m, C_e, C_a e C_{ti} utilizados na determinação da receita líquida da cultura da cana-de-açúcar..... 78

TABELA 5 Precipitações pluviais total e efetiva ($P_{efetiva}$), lâminas de irrigação (L_I) e produtividade de variedades de cana-de-açúcar em Penápolis - SP 80

TABELA 6 Incremento de produtividade, receitas bruta e liquida de variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, na região de Penápolis - SP 81

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AL - Alagoas (Estado brasileiro);

ANA - Agência Nacional das Águas;

ATR - Açúcares totais recuperáveis;

b_1 e b_2 - Coeficientes da equação de produção;

C_p - Custo de produção;

C_i - Custo de implantação do sistema de irrigação (R$ ha^{-1});

C_m - Custo com a manutenção e mão-de-obra do sistema de irrigação (R$ ha^{-1});

C_e - Custo com a energia elétrica (R$ ha^{-1});

C_a - Custo da água (R$ m^3);

C_{ti} - Custo total da irrigação (R$ ha^{-1});;

C_w - Custo do insumo (R$ mm^{-1});

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento;

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz;

CAD - Capacidade de água disponível;

D - Depreciação anual;

Ds - Densidade do solo (g dm^{-3});

DAP - Dias após o plantio;

DAC - Dias após o corte;

DAEP - Departamento de Água e Esgoto de Penápolis;

EUA - Eficiência no uso da água (mm t^{-1} ou m^3 t^{-1});

ETo - Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

ETc - Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

GL - Graus de liberdade;

I - Irrigação;

I_i - Investimento inicial;

IAF - Índice de área foliar;

Kc - Coeficiente de cultura;

Kp - Coeficiente do tanque classe “A” (m);

Li - Lâmina de irrigação (mm);

MS - Matéria seca;

N - Nitrogênio;

n - Vida útil do sistema de irrigação;

PB- Paraíba (Estado brasileiro);

PUI - Período útil de industrialização;

PS - Pressão de serviço (mca);

P - Precipitação pluvial;

P_p - Preço do produto (R$ t^{-1} de cana);

$P_{efetiva}$ - Precipitação pluvial efetiva;

PIB - Produto interno bruto;

PRNT - Poder real de neutralização total;

R - Valor residual;

R^2 - Coeficiente de determinação (%);

RB - Receita bruta (R$);

RL - Receita liquida (R$);

SP - São Paulo (Estado brasileiro);

STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil;

SDI - Subsurface drip irrigation;

SI - Sem irrigação;

T - Temperatura média do ar (ºC);

TAH - Tonelada de açúcar por hectare;

TCH - Tonelada de cana por hectare;

Tmáx. - Temperatura máxima do ar;

Tmín. - Temperatura mínima do ar;

U_2 - Velocidade do vento medido a dois metro de altura (km dia^{-1});

UR - Umidade relativa do ar (%);

Y_c - Produtividade da cultura (t ha^{-1});

Y_r - Aumento do rendimento (t ha^{-1});

VIB - Velocidade de infiltração do solo;

W_a - Volume total de água aplicada em cada tratamento (m^3);

W_{mec} - Quantidade de insumo (lâmina de irrigação) que proporciona a produtividade de máxima eficiência econômica (mm).

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, a qual se destaca pela alta competitividade internacional de alguns de seus derivados (açúcar e etanol). No entanto, um dos principais problemas que limita a produtividade e a longevidade dos canaviais brasileiros são as restrições climáticas, principalmente a precipitação pluvial, não devido a quantidade e sim, à má distribuição das chuvas. Dentre os efeitos negativos provocados pelo déficit hídrico destaca-se a redução nas variáveis morfofisiológicas e consequentemente na produtividade agrícola. Tal efeito pode ser minimizado com o uso da irrigação. No entanto, em cana-de-açúcar irrigada há necessidade de se determinar a lâmina de máxima eficiência econômica, pois nem sempre a fração de irrigação que proporciona a máxima produtividade é economicamente viável. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, os componentes de produção e a viabilidade econômica do uso da irrigação em duas variedades de cana-de-açúcar em primeiro ciclo de cultivo, submetidas a diferentes lâminas de irrigação, em Penápolis (SP). A área experimental tinha 0,5 hectare, com solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de textura média e declividade inferior a 1%. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com arranjo fatorial (2 x 7), sendo duas variedades de cana-de-açúcar (RB965902 e RB855453) e sete lâminas de irrigação (L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc), com quatro repetições. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com vazão de 1,42 L h^{-1} por emissor autocompensado, com a pressão de serviço variando entre 5 e 25 mca. Durante a condução do experimento foram obtidas as seguintes variáveis: perfilhamento, altura de plantas, índice de área foliar (IAF), medidas mensalmente, e o diâmetro do colmo, acúmulo de matéria seca, produção de açúcar, teor de água e produtividade agrícola, ao final do ensaio. Também foram avaliados os custos de

produção da cana-de-açúcar e a sua viabilidade econômica em cada tratamento. Verificou-se que o máximo perfilhamento ocorreu aos 120 dias após plantio (DAP) para a variedade RB965902 e 150 DAP para a RB855453 que apresentou diâmetro de colmo superior quando submetida a uma lâmina de irrigação equivalente a 75% da ETc, e a RB965902 a uma lâmina de 125%. A variedade RB855453 foi superior a RB965902 para a produção de açúcar, matéria seca e produtividade agrícola. No entanto, as variedades foram semelhantes quanto ao teor de água na folha e ATR. A estimativa da produtividade (t ha^{-1}), em função da lâmina total de água aplicada, obteve ajuste significativo ($p < 0,05$) ao modelo linear e polinomial de segundo grau. A variedade RB855453 apresentou uma produtividade de máxima eficiência econômica estimada em 182,15 t ha^{-1}, quando submetida a uma lâmina de água de 1.024,53 mm. A variedade RB965902 não apresentou viabilidade econômica quando submetida aos tratamentos variando desde a testemunha até 150% da ETc, e a única condição que houve receita líquida positiva foi com a aplicação de 75% da ETc na variedade RB855453.

Palavras-Chave: gotejamento, análise de crescimento, matéria seca, eficiência no uso da água, viabilidade econômica.

GROWTH, PRODUCTIVITY AND ECONOMIC VIABILITY OF SUGARCANE UNDER DIFFERENT DEPTH IRRIGATION IN PENÁPOLIS, SP. Botucatu, 2012. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CICERO TEIXIERA SILVA COSTA

Adviser: JOÃO CARLOS CURY SAAD

Co-Adviser: Hélio Grassi Filho

SUMMARY

Brazil is largest sugarcane producer in the world and this is of great socioeconomic importance because of its high international competitiveness of its derivatives (sugar and ethanol). However, the main problem which limits its productivity and longevity is the restricted climatic condition, especially rainfall, due to its irregular distribution. Among the negative effects caused by water deficit is the reduction in morphophysiological variables and consequently in the agricultural productivity; this can minimize the use of irrigation. However, in sugarcane irrigation is necessary to determine the depth of maximum economic efficiency, because the fraction of irrigation that provides maximum productivity is not always economically viable. Therefore, this study aimed to evaluate the growth, yield components, and the irrigation economic viability in two sugarcane varieties in the first crop cycle under different irrigation levels, in Penápolis (SP). The experimental area had 0.5 hectare, with soil classified as Typic Hapludox, medium texture and slope less than 1%. The experimental design was a randomized block with factorial arrangement (2 x 7), being two varieties of sugarcane (RB965902 and RB855453) and seven irrigation levels (L_0 = control, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% and L_6 = 150% of ETc), with four replications. The irrigation system used was subsurface drip with a flow rate of 1.42 L h^{-1} by auto compensate emitter, with operation pressure varying from 5 to 25 mca. During the experiment the following variables were obtained: tillering, plant height, leaf area index (LAI), stem diameter, dry matter accumulation, sugar, water content and yield. In addition, the sugarcane cost production and its economic viability were evaluated in each treatment. It was found that the maximum tillering occurred at 120 days after planting (DAP) for the variety RB965902 and 150 DAP for RB855453. The RB855453 showed stem diameter greater when submitted to the water depth equivalent to 75% of ETc and RB965902 when submitted to 125% of ETc. RB855453 was superior to

RB965902 for the sugar production, dry matter and yield. However, these varieties were similar in the leaf water content and total recoverable sugar (TRS). The yield estimate (t ha^{-1}) in function of the water applied depth obtained significant adjustment ($p < 0.05$) for the linear model and for the second-degree polynomial. The variety RB855453 showed a maximum economic productivity estimated at 182.15 t ha^{-1} when submitted to a water depth of 1024.53 mm. The variety RB965902 showed no economic viability when submitted to treatments ranging from the non-irrigated to 150% ETc, and the positive net income occurred only with the application of 75% of ETc in variety RB855453.

Key words: drip, growth analysis, dry matter, water use efficiency, economic viability.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais da atualidade diz respeito às mudanças climáticas globais, consequência do aumento nos teores de gases atmosféricos causadores do efeito estufa, dentre eles o CO_2. Uma contribuição para reduzir este problema é a substituição dos combustíveis fósseis pelos renováveis, como o etanol, o biodiesel, a biomassa de cana-de-açúcar (bagaço e palhiço); pois quando queimados emitem carbono que serão reabsorvidos mediante o processo fotossintético no próximo cultivo da cultura.

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial, sendo considerada uma cultura de grande importância social, econômica e ambiental para o mundo e para o Brasil que é o maior produtor.

Cultivada principalmente como matéria prima para produção de açúcar e etanol, o Brasil possui uma área com cana-de-açúcar de 8,4 milhões de hectares (CONAB, 2012). A alta produção de veículos bicombustíveis e a demanda mundial por combustíveis renováveis, em particular o etanol e a energia elétrica, impulsionaram a sua expansão (NÓBREGA e DORNELAS, 2006).

No Brasil, o setor sucroenergético movimenta cerca de R$ 56 bilhões por ano, o que representa 2,1% do PIB brasileiro, gerando impostos na ordem de R$ 14 bilhões e aproximadamente 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos. Mesmo passando por um período de concentração de unidades produtivas, o complexo nacional conta com 420 indústrias sucroalcooleiras em atividade, sendo 90 destilarias e 330 usinas que produzem etanol e açúcar (JORNAL CANA, 2012).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e Austrália. Com uma produção de 560,3 milhões de toneladas na safra 2011/2012, e uma estimativa de 596,6 milhões de toneladas para a próxima safra. Esse volume representa um aumento de 6,5%, e deste total produzido 49,83% destina-se à fabricação de açúcar e 50,17% à produção de etanol (CONAB, 2012).

O Estado de São Paulo encontra-se é o maior produtor nacional, com uma produção de 305,6 milhões de toneladas, o equivalente a 55% da produção brasileira, e uma produtividade média de 69,9 t ha^{-1} (Conab, 2012), entretanto, em algumas regiões do estado, as ocorrências de veranicos e a má distribuição das chuvas causam redução na produtividade e na longevidade dos canaviais.

Associada às estiagens, que sempre impõem condição de déficit hídrico a plantas está à baixa produtividade, por isso, o aumento da produção de cana-de-açúcar no Brasil não passa apenas pela ampliação da área cultivada, existindo outros meios como o desenvolvimento de novas variedades e a implantação da irrigação.

A quantificação da lâmina de irrigação que gera máxima eficiência econômica na cultura da cana-de-açúcar é extremamente importante, pois a falta ou excesso de água em alguns estádios fenológicos limita o desenvolvimento e o rendimento da cultura. A falta de água leva ao estresse hídrico (desejável apenas no período de maturação), além da diminuição na absorção de nutrientes.

Pesquisas que visam à seleção de variedades tolerantes aos estresses abióticos têm sido realizadas no Brasil. Alguns critérios agronômicos, como a análise de crescimento e econômica permitem avaliar e quantificar as taxas de crescimento e a viabilidade técnica-econômica da cana-de-açúcar irrigada.

A análise de crescimento é considerada um método-padrão para medir a produtividade biológica de uma cultura, sendo uma ferramenta que permite avaliar o crescimento sob diferentes condições de cultivo (Benincasa, 2003; Oliveira et al., 2004), tendo em vista que tais parâmetros expressam a combinação dos efeitos genéticos e ambientais, bem como os mecanismos fisiológicos e bioquímicos que conferem tolerância ao estresse hídrico (YEO, 1999).

Fatores ambientais e genéticos interferem na absorção, translocação, acúmulo e utilização dos nutrientes minerais pelas plantas. Dentre eles, a disponibilidade hídrica é o principal, pois a água é o veículo de condução dos elementos

minerais até a interface solo-raiz e no xilema, além de interferir na fisiologia da planta, na dinâmica de absorção e utilização dos nutrientes (FERREIRA et al., 2008).

Para atingir estes objetivos a tese está dividida em 2 capítulos, sendo o primeiro capitulo intitulado "CRESCIMENTO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO"; e o segundo capítulo intitulado "VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, SUBMETIDAS A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO".

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originária da Nova Guiné, onde sua existência era tida como planta silvestre, e em seguida, foi levada para o sul da Ásia onde foi usada em forma de xarope. Por ser uma cultura típica de climas tropicais e subtropicais, não corresponderam as tentativas de cultivo na Europa. Entretanto, encontrou excelentes condições de desenvolvimento na América. Em sua segunda viagem a São Domingos em 1493, Colombo levou as primeiras mudas, de onde se estenderam a Cuba e outras ilhas do Caribe (MOZAMBANI et al., 2006).

No Brasil, a cana-de-açúcar foi introduzida por Martim Afonso de Souza, em 1533, e o cultivo teve inicio no fim do século XVI, com o surgimento de centenas de engenhos em Pernambuco e Bahia. Em 1615, a região de Itu (SP) destacou-se como o maior centro açucareiro do Estado (MOZAMBANI et al., 2006).

No século XVII, com a ajuda dos holandeses, houve um aumento na produção brasileira de açúcar. No século XVIII, ocorreu uma queda no setor, devido à concorrência com o mercado europeu. Durante os séculos XIX e XX, o setor sucroenergético passou por períodos de altos e baixos, novamente pela concorrência de mercado (MARQUES et al., 2001). Com a crise do petróleo, em meados da década de 70, tornou-se significativa a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar. Desde então, esse produto passou a absorver parte da matéria prima que era destinada apenas à produção de açúcar (MOZAMBANI et al., 2006).

2.2 Ecofisiologia da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) pertence à família Poácea, da classe das Liliopsida e da Ordem Cyperales. Essa ordem caracteriza-se por apresentar flores pequenas, sem perianto e protegidas por brácteas secas, reunidas em inflorescências. O caule é um colmo com nós e entrenós ocos ou cheios (PARANHOS, 1987).

A interação da planta com o ambiente é determinante na produção das culturas, e a produção da matéria seca está diretamente relacionada com a interceptação da radiação solar, ocorrendo a transformação da energia solar em energia química através da fotossíntese (TERUEL et al., 1997).

A cana-de-açúcar é adaptada às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, pois aproximadamente 70% de seu peso é formado por água. A capacidade em absorver água pelas folhas é maior do que em outra poácea, no entanto, são as raízes, através dos pelos radiculares, que absorvem maior quantidade. Porém, o orvalho da madrugada e os chuviscos que não chegam a atingir o solo são absorvidos por suas folhas (SEGATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar é uma planta C_4, assim chamada por formar compostos orgânicos com quatro carbonos (SEGATO et al., 2006). Por apresentar esta característica fisiológica, é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com altas taxas fotossintéticas. A grande capacidade da cana-de-açúcar para a produção de matéria orgânica reside na alta taxa de fotossíntese por superfície de terreno, influenciada pelo (IAF) índice de área foliar (RODRIGUES, 1995).

A folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e ao desenvolvimento dos vegetais (Hermann e Câmara, 1999), sendo responsável por 90% da massa seca acumulada nas plantas, resultante da atividade fotossintética (BENINCASA, 2003).

A fotossíntese é correlacionada negativamente com a largura das folhas e positivamente com a sua espessura. A posição mais vertical da folha no colmo traduz-se em maior eficiência fotossintética, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel. A fotossíntese varia com a idade da folha, atingindo valores de fixação de plantas C_4 apenas em folhas recém-expandidas, enquanto em folhas mais velhas, realizam fotossíntese em níveis semelhantes às plantas C_3 (RODRIGUES, 1995).

Os processos de bioconversão da energia radiante em química pela cana-de-açúcar são mais efetivamente afetados pelas seguintes variáveis: luz (intensidade e quantidade), concentração de CO_2, disponibilidade hídrica, nutrientes e temperatura. Rodrigues (1995) ressalta que a elevação do CO_2 da atmosfera aumenta a capacidade fotossintética, sendo que o vento em velocidade moderada eleva a fotossíntese por aumentar a disponibilidade de CO_2 para as plantas.

Inman-Bamber (2004) relata que temperaturas elevadas aliadas ao estresse hídrico causam diminuição da área foliar, acelerando o processo de senescência. Assim o aumento do IAF ocorre em função do aumento do número de folhas e do aumento da área foliar individual, existindo uma significativa associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa, representada pelo IAF (Farias et al., 2007), proporcionando alta produção de fotoassimilados e de açúcares, sendo considerado um parâmetro muito importante em análise de crescimento.

No início do ciclo da cultura, o IAF é baixo e apresenta crescimento lento, em seguida aumenta ao máximo, permanecendo praticamente constante ou diminuindo em condições climáticas desfavoráveis (MACHADO et al., 1982). O padrão geral de desenvolvimento do IAF em cana é atingir o máximo entre 120 e 240 DAP e, em seguida, declinar lentamente até o período da colheita (Cock, 2001). Valores acima de 8 têm sido observados, sendo que os mais comuns variam entre 4 e 6.

A cana-de-açúcar é cultivada em regiões tropicais e subtropicais, numa ampla faixa de latitude, desde cerca de 35° N a 30º S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.000 m, em mais de 90 países, adaptando-se a diversas condições de clima e solo, exigindo precipitações pluviométricas entre 1.500 a 2.500 mm durante o ciclo de cultivo (DOOREMBOS e KASSAM, 1994).

Por ser uma cultura bastante influenciada pelas condições edafoclimáticas, a precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar e a insolação são fatores importantes na determinação da disponibilidade hídrica e térmica da cultura. O crescimento e o desenvolvimento das plantas estão relacionados com os fatores climáticos ocorridos durante o estádio de desenvolvimento, sendo a temperatura do ar um dos fatores mais importantes (SINCLAIR et al., 2004). Por isso, a temperatura do ar e a precipitação pluvial são os principais fatores que determinam o sucesso da cultura em relação à exploração econômica (BRUNINI, 2010).

A temperatura do ar basal para a cana-de-açúcar está em torno de 20°C, porém, a temperatura ótima é de 32°C, pois nestas condições a cultura apresenta seu máximo crescimento (BARBIERI et al., 1979). De acordo com Casagrande (1991) a faixa ideal para o desenvolvimento situa-se entre 20ºC a 35ºC. Brunini (2010) relata que em temperaturas acima de 38°C ocorre a paralisação do crescimento vegetativo da cultura.

Maule et al. (2001) observaram que algumas variedades de cana-de-açúcar apresentaram comportamento diferenciado em função das condições ambientais. Para Bonnett (1998), temperaturas inferiores a 8ºC prejudicam o desenvolvimento das folhas em algumas variedades. Sinclair et al. (2004) observaram que temperaturas mínimas para o desenvolvimento das folhas com diferentes limites entre variedades e que a temperatura base para o desenvolvimento dos aparatos foliares estaria em torno de 10ºC.

De acordo com Almeida et al. (2008), o crescimento da cana-de-açúcar é alcançado quando a temperatura é superior a 20ºC, e que a faixa entre 25ºC e 33ºC é mais favorável ao desenvolvimento vegetativo. Além de temperaturas extremas, a baixa radiação solar e o déficit hídrico também limitam o desenvolvimento da cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER, 2004; BRUNINI, 2010).

2.3 Perfilhamento da cana-de-açúcar

Após a emissão do perfilho primário, inicia-se o crescimento e desenvolvimento das raízes, tendo por finalidade absorver água e nutrientes do solo, não dependendo mais das reservas do tolete (SILVA et al., 2010). O perfilhamento corresponde ao processo de emissão de colmos por uma mesma planta, denominados perfilhos (Bezuidenhout et al., 2003), variando entre espécies, variedades e manejo. Segundo Machado et al. (1982) na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorre um intenso perfilhamento, seguido de uma diminuição do número de colmos, decrescendo lentamente até a colheita.

A fase de intenso perfilhamento ocorre quando se atinge o máximo da produção de novos perfilhos, chegando algumas variedades a produzir mais de 25 por touceira (Segato et al., 2006), reguladas pela auxina, formada no topo do dossel e que desce em fluxo contínuo em direção à base. Nesse caso, o hormônio exerce um duplo efeito: alongamento do colmo e o impedimento do desenvolvimento das gemas laterais (dominância apical). Com a alta luminosidade, o fluxo de auxina diminui e ocorre um

decréscimo no grau de inibição das gemas laterais, resultando no aumento do número de perfilhos (CASAGRANDE, 1991).

A densidade de plantas é influenciada pela luminosidade, pois quando alta, geralmente a cultura tende a perfilhar mais (BEZUIDENHOUT et al., 2003). Essa característica também foi observada por Christoffoleti (1986) avaliando plantas cultivadas em casa-de-vegetação sob baixa intensidade luminosa, verificando maior número de perfilhos mortos. Entretanto, o mesmo não ocorreu quando o experimento foi conduzido em ambiente com maior incidência solar. Para Casagrande (1991), o perfilhamento aumenta em ambientes com temperaturas de até, no máximo, 30ºC.

Ramesh e Mahadevaswany (2000), estudando o efeito do estresse hídrico nas diferentes fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, observaram que as variedades que perfilham menos, além de apresentarem menores porcentagens de mortalidade, tinham perfilhos com maior altura, maior diâmetro de colmo e maior massa seca, indicando correlação positiva com as variedades mais produtivas.

Tokeshi (1986) observou que o perfilhamento em cana-de-açúcar tem seu ponto máximo entre 120 e 180 dias após o plantio (DAP) e quando os perfilhos maiores atingem em torno de 50 cm de altura do colo até a lígula da folha +1, inicia-se a concorrência por luz, espaço, água e nutrientes. A tendência é estabilizar o número de perfilhos e, mais tarde com o crescimento dos colmos dominantes, ocorre decréscimo com a eliminação dos mais novos, fracos, doentes e mal posicionados (SEGATO et al., 2006). Nesta fase, o sistema radicular encontra-se bem desenvolvido e em plena fase de crescimento, desde que não existam impedimentos físicos, químicos ou biológicos.

A radiação solar tem grande influência na formação e no crescimento dos perfilhos, porém, em condições de maiores intensidades luminosas a cultura pode promover a foto-oxidação do ápice, reduzindo o alongamento e aumentando o número de perfilhos (BEZUIDENHOUT et al., 2003).

De acordo com Liu et al. (1999), a formação e o crescimento dos perfilhos são favorecidos pelo aumento da temperatura até os 30ºC e, quando abaixo de 20ºC, pode ocorrer paralisação no crescimento. Almeida et al. (2008) verificaram que temperaturas entre 25ºC e 27ºC, combinadas com suprimento hídrico adequado, favorecem o desenvolvimento de novos perfilhos.

O estresse hídrico também pode causar redução na emissão de perfilhos, paralisando a divisão e o alongamento celular, e impedindo a diferenciação e o

crescimento dos tecidos que darão origem a novas estruturas da planta. Bezuidenhout et al. (2003) relatam que durante o perfilhamento a cana-de-açúcar exige uma grande quantidade de água para que ocorra o desenvolvimento vegetativo.

Em ótimas condições ambientais, o inicio do perfilhamento ocorre a partir dos 40 DAP, podendo prolongar-se até os 150 DAP (ALMEIDA et al., 2008). Santos et al. (2009), trabalhando com a variedade RB75126 em condição de sequeiro, verificaram que o máximo perfilhamento ocorreu aos 120 DAP. Oliveira et al. (2004), estudando o crescimento e o desenvolvimento de três variedades de cana-de-açúcar, observaram máximo perfilhamento entre 180 e 240 DAP. Por outro lado, Alvarez e Castro (1999) observaram máximo perfilhamento aos 101 e 131 dias após o corte (DAC) para a cana colhida queimada e crua, respectivamente.

Com a paralisação do perfilhamento, as plantas que estão mais desenvolvidas continuam crescendo em altura e espessura, até que ocorra alguma limitação abiótica. O perfilhamento corresponde ao segundo estádio fenológico responsável pelo estabelecimento da cultura, fornecendo às touceiras o número de colmos adequados à produção (CAMARA, 1993).

A partir do máximo perfilhamento, a competição pelos fatores de crescimento torna-se elevada, de maneira que se constata redução do perfilhamento pela diminuição e paralisação deste processo, além da morte de perfilhos. Os colmos que sobreviveram à forte competição da fase de perfilhamento intenso continuam em processo de desenvolvimento, acumulando sacarose em seus internódios à medida que vão amadurecendo (CÂMARA, 1993).

2.4 Crescimento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar apresenta um ótimo desenvolvimento em condições de alta temperatura e suprimento hídrico adequado. Assim sendo, os fatores abióticos tem grande influencia na produção da cultura (Castro, 2000), desde a emissão de brotos, perfilhamento, crescimento e acúmulo de sacarose.

Na fase inicial, o crescimento é lento, devido à dependência das reservas contidas nos toletes, logo após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas a planta tem um rápido crescimento através da retirada de água e nutrientes do solo e da atividade fotossintética (LUCCHESI, 1987).

Desta forma, o comprimento, diâmetro e o número de internódios aumentam consideravelmente à medida que a temperatura média ultrapassa os 20ºC. Nestas condições, a cultura apresenta seu máximo crescimento, e acima de 38°C ocorre paralisação no crescimento (BARBIERI e VILLA NOVA, 1977).

As relações hídricas também desempenham papel importante na elongação dos perfilhos e no crescimento final dos colmos em cana-de-açúcar. Em condição de déficit, Inman-Bamber (2004) observaram redução no alongamento do colmo e no desenvolvimento foliar da cultura. Machado et al. (2009) também verificaram redução na produção de matéria seca e no conteúdo de sólidos solúveis devido à redução na fotossíntese, o que causou menor produção de fotoassimilados necessários para o crescimento e produção de sacarose.

Na fase de alongamento do colmo, a cana-de-açúcar apresenta uma grande suscetibilidade ao déficit hídrico, com sérios prejuízos na produção de fitomassa e de sacarose (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005). O alongamento celular e o desenvolvimento da cana-de-açúcar estão diretamente relacionados à umidade do solo. Entretanto, quanto mais prolongado for o déficit hídrico, maior será a formação de entrenós curtos e próximos entre si, reduzindo o volume de parênquima utilizado para o armazenamento de sacarose (CAMARA, 1993).

Durante a fase de crescimento, ocorre uma intensa absorção de radiação solar pela cana-de-açúcar. A absorção da radiação incidente pelas culturas depende do IAF, posição solar, geometria e tamanho da folha, ângulo de distribuição, arranjo das plantas, época do ano e nebulosidade (Varlet-Grancher et al., 1989), e ainda da espécie cultivada e das condições meteorológicas.

A formação do dossel desempenha papel fundamental no rendimento, interceptando a radiação solar, influenciando nos processos fotossintéticos e na transpiração da cultura, além de evitar o aparecimento de plantas daninhas, sendo considerado crucial na determinação da produtividade agrícola (SMIT e SINGELS, 2006).

Inman-Bamber (2004) ressalta que o tempo de exposição à seca afeta negativamente o crescimento da planta, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar, podendo reduzir a interceptação da radiação, a eficiência do uso de água e a fotossíntese, bem como aumentar a radiação transmitida à superfície do solo.

As folhas constituem os órgãos assimiladores de radiação e surgem a partir do meristema apical. O crescimento das plantas depende da conversão da energia

luminosa em energia química, cuja intensidade é proporcional à interceptação da luz pelo dossel (Smit e Singels, 2006), uma vez que o desenvolvimento do dossel é regulado pela temperatura e radiação, podendo sofrer interferência no seu desenvolvimento pela cultivar, densidade de plantio, estado hídrico e nutricional (SINGELS, et al., 2005).

2.5 Maturação da cana-de-açúcar

Com o fim do perfilhamento, os colmos bem posicionados continuam em desenvolvimento. Sem o dreno fisiológico dos colmos mais jovens, inicia-se o processo de acúmulo de sacarose nos entrenós basais dos colmos mais velhos, como resultado da produção excedente de fotoassimilados. A maturação e a indução ao aumento de açúcar são processos reversíveis e estão associados com a redução da precipitação e da temperatura do ar (BRUNINI, 2010). Para atingir alta produção de sacarose, a planta precisa de temperatura e umidade adequadas no período de máximo crescimento, seguido de uma restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose nos dias que antecedem a colheita (TERAMOTO, 2003).

A intensidade do acúmulo de sacarose é fortemente influenciada pelas condições ambientais desfavoráveis ao crescimento e desenvolvimento vegetativo (temperaturas mais baixas, seca moderada e carência de nitrogênio), ocorrendo à plena maturação dos colmos, o qual deve ser devidamente monitorado por análises especificas (SEGATO et al., 2006).

Na cana-de-açúcar o colmo é considerado um fruto agrícola, por ser responsável pelo armazenamento da sacarose. Uma sucessão de entrenós em diferentes estádios fisiológicos compõe o colmo e com o desenvolvimento dos entrenós, a taxa de crescimento diminui progressivamente, até ser nula, quando ocorre o amadurecimento do colmo (HEERDEN et al., 2010).

Por ser uma planta C_4, a cana-de-açúcar possui alta eficiência fotossintética, e consequentemente acumula maior taxa de sacarose (MCCORMICK et al., 2008). Em condições ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento vegetativo (baixa temperatura e baixa umidade do solo), a cana-de-açúcar começa a intensificar o acúmulo de sacarose, o que geralmente ocorre entre 11 e 20 meses após o plantio, dependendo das características varietais e da época de plantio (CÂMARA, 1993).

A nutrição mineral também influencia na maturação da cana-de-açúcar. Para Silva et al. (2010) o excesso de nitrogênio em cobertura estimula o crescimento vegetativo da planta e retarda a maturação. A aplicação de vinhaça também pode interferir no acúmulo de sacarose, por ser constituída de água, matéria orgânica, nitrogênio e potássio.

Nos últimos anos, têm-se usado maturadores químicos visando a antecipação da colheita em cana-de-açúcar. Em busca da indução da maturação em diferentes genótipos, Caputo et al. (2008) verificaram que o emprego de maturadores antecipou em 21 dias a colheita em relação ao tratamento que não recebeu maturador.

2.6 Metabolismo fisiológico de plantas C_4

Como a maioria das poáceas, a cana-de-açúcar apresenta elevada eficiência na utilização e resgate de CO_2 atmosferico, é adaptada às condições de alta luminosidade e temperatura, necessitando de grandes quantidades de água para suprir suas necessidades hídricas (Segato et al., 2006), em suas diversas fases de desenvolvimento. As plantas com metabolismo C_4 apresentam maior eficiência fotossintética, devido à abundância de cloroplastos dispostos nas duas camadas da folha. Quantitativamente isso proporciona à cana-de-açúcar uma taxa de crescimento e eficiência do uso da água duas a três vezes maiores em relação às plantas de metabolismo C_3 (CASAGRANDE, 1991).

No processo fotossintético ocorre uma reação de óxido-redução em que participam o CO_2 como oxidante e a H_2O como redutor, envolvendo a transferência de quatro elétrons através de um gradiente de potencial de cerca de 1,2 volts. O sistema de foto-oxidação da água resulta na liberação de O_2 e na transferência de quatro elétrons que envolvem a participação de vários intermediários, entre os quais o íon manganês (Castro, 2002), e produz o malato como o primeiro composto acumulado durante a fotossíntese da cana-de-açúcar, que é translocado para os cloroplastos das células da bainha vascular.

Uma característica anatômica associada ao processo de fixação do CO_2 pelas folhas de plantas C_4 refere-se à presença de um anel de células que circunda os feixes vasculares (bainha vascular). A assimilação do CO_2 ocorre nas células do mesófilo, sendo incorporado na molécula do ácido fosfoenolpirúvico (PEP), produzindo ácido oxalacético (OAA), e em seguida malato (Castro, 2002). Em cana-de-açúcar, o malato é

transportado para a bainha vascular onde é descarboxilado, e o CO_2 produzido na reação é fixado através do ciclo de Calvin e catalisado pela enzima PEP-carboxilase.

Em plantas produtoras de malato, o piruvato produzido na bainha vascular retorna ao mesófilo e regenera o PEP através da reação catalisada pela enzima piruvato-diquinase. A reação de produção do PEP a partir do piruvato ocorre nos cloroplastos e consome duas ligações fosfato ricas em energia (LACHER, 2006).

A alta capacidade produtiva da cana-de-açúcar em regiões tropicais pode estar relacionada com sua alta eficiência fotossintética em ótimas condições ambientais. Quando a temperatura do ar decresce, há queda na taxa de fotossíntese, devido à diminuição da síntese de PEP-carboxilase, foto-destruição de clorofila e diminuição na velocidade das reações de carboxilação (TAIZ e ZEIGER, 2006).

2.7 O déficit hídrico e os aspectos fisiológicos da cana-de-açúcar

O estresse é um desvio significativo das condições ótimas para a vida, ou seja, é tudo que desvia a planta das condições ideais de desenvolvimento. Em algumas situações o estresse hídrico é interpretado como algo que falta (deficiência), em outras que esta em excesso (anoxia) levando à deficiência de oxigênio (LARCHER, 2006).

Para um determinado fator estressante, cada planta tem um limite de tolerância, a partir do qual as alterações são intensivamente mais profundas e permanentes, podendo variar entre espécies, genótipos e entre fases fenológicas de um mesmo genótipo (SAMALLWOOD et al., 1999).

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas, sendo considerada a principal causa da redução da produtividade (FLEXAS et al., 2006). As plantas tendem a diminuir a perda de água pelo fechamento parcial dos estômatos, evitando a redução do potencial da água na planta em condições de déficit. Quando o potencial hídrico encontra-se em torno de -1,3 MPa, o alongamento celular é praticamente nulo. No entanto, o alongamento das folhas é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo (INMAN-BAMBER et al., 2008).

A deficiência hídrica também causa senescência foliar e restrição do surgimento de novas folhas. O grau dessas alterações é decorrente da intensidade e do genótipo cultivado (Smit e Singels, 2006), e conforme a fase fenológica da cultura pode reduzir a produtividade. O período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido

desenvolvimento, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para realizar as trocas gasosas (PIRES et al., 2008).

De acordo com Inman-Bamber e Smith (2005) a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, causando prejuízos na produção de fitomassa e de sacarose. Inman-Bamber (2004) verificou redução de 35% na fitomassa da cana-de-açúcar devido a restrição hídrica, em fase de alta demanda evaporativa em plantas jovens.

Machado et al. (2009) observaram que a cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico na fase de crescimento inicial apresentou redução na produção de fitomassa e de sólidos solúveis em razão da menor condutância estomática e eficiência aparente de carboxilação da fotossíntese.

O conhecimento das necessidades hídricas de uma planta é fundamental para melhorar o manejo da cultura, sobretudo em virtude da deficiência hídrica existente em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil. Para Taiz e Zeiger (2006) o déficit hídrico ocorre quando todo conteúdo de água de uma célula ou tecido está abaixo do mais alto exibido na condição de maior hidratação da planta. Nesta situação a transpiração é superior ao fornecimento de água a cultura.

A água desempenha papel fundamental na produção agrícola. Para cada grama de matéria orgânica produzida pelos vegetais, aproximadamente 500g de água são absorvidos pelas raízes (Taiz e Zeiger, 2006) e constitui de 80 a 95% da massa dos tecidos vegetais em crescimento.

Analisando o efeito do déficit hídrico em cana-de-açúcar, na região de Rio Largo (AL), Gonçalves et al. (2009) verificaram que a restrição hídrica causou redução na condutância estomática, transpiração e fotossíntese em quatro variedades de cana-de-açúcar, com efeitos significativos para todas as variáveis ao se comparar o tratamento controle com a testemunha (sem irrigação). De acordo com Larcher (2006); Taiz e Zeiger (2006), quando submetida ao estresse severo, uma das primeiras respostas das plantas C_4 pode ser o fechamento estomático, para minimizar a perda de água.

Em cana-de-açúcar, á água representa aproximadamente 70% da massa verde, atuando no transporte de solutos e gases, como reagente no metabolismo básico (fotossíntese, hidrólise de carboidratos), na turgescência foliar, responsável pela forma e estrutura dos órgãos (folhas, flores e frutos), no mecanismo estomático (abertura e

fechamento dos estômatos), na penetração do sistema radicular no solo e na expansão celular (LUCCHESI, 1987).

Dentre os diversos efeitos negativos imposto pelo déficit hídrico destaca-se a baixa produtividade. As plantas C_4 exibem mecanismos de aclimatação que são ativados em resposta ao déficit (Taiz e Zeiger, 2006). Algumas variedades de cana-de-açúcar conseguem diminuir o potencial hídrico sem reduzir a turgescência ou no volume celular, processo conhecido como ajustamento osmótico.

O déficit hídrico durante a fase vegetativa da cana-de-açúcar reduziu o número de colmos viáveis para a colheita, diminuiu a altura, o número de internódios e o peso dos colmos (Ramesh e Mahadevaswamy, 2000). Estes autores verificaram o efeito do estresse severo e moderado sobre as diferentes fases do ciclo de quatro variedades de cana-de-açúcar na Índia, ao avaliarem a mortalidade de perfilhos, as características morfológicas, a produtividade e a qualidade da matéria prima.

Onde não é possível usar irrigação, torna-se indispensável conhecer o comportamento fisiológico da cana-de-açúcar submetida a diferentes condições hídricas, podendo auxiliar os programas de melhoramento genético, pois a resistência ao déficit hídrico pode ser uma importante característica para seleção de variedades. Assim, o uso eficiente da água de irrigação é a maneira mais eficaz de melhorar o conhecimento acerca das relações hídricas em cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005).

2.8 Irrigação em cana-de-açúcar

A irrigação é uma atividade agrícola que tem por finalidade suprir as necessidades hídricas das plantas em seus diversos estádios de desenvolvimento. Entretanto, é uma técnica que não funciona isoladamente, e sim conjugada com outras praticas de manejo. O uso do gotejamento enterrado será viável se utilizar técnicas adequadas de manejo do sistema, visando à racionalização no uso da água, energia e maximizando a produção (COELHO et al., 1999).

Pesquisas comparando os cultivos de sequeiro com irrigado mostram os benefícios desta atividade, tendo-se sempre um aumento de produtividade. Fica evidente que a água é um fator limitante quando se busca extrair da cultura todo seu potencial produtivo, uma vez que junto com ela são absorvidos todos os nutrientes

essenciais ao desenvolvimento das plantas. Assim, não basta desenvolver variedades mais produtivas, pois a água será decisiva e determinante na produtividade (DALRI, 2006).

A disponibilidade hídrica é considerada como uma das principais causas da variação da produtividade agrícola nos diferentes solos do Estado de São Paulo (VAN DEN BERG et al., 2000). De acordo com Inman-Bamber e Smith (2005), um suprimento hídrico anual entre 1.500 a 2.000 mm é suficiente para atender as exigências hídricas da cana-de-açúcar, porém em muitas regiões do país ocorre má distribuição, podendo chover até 70% do total anual em um determinado período e seca em outros, o que pode coincidir com a fase de grande desenvolvimento da cana-de-açúcar com maior exigência hídrica, contribuindo para as baixas produtividades (SOUZA et al., 2004).

A cana-de-açúcar possui quatro estádios fenológicos: i) brotação, ii) perfilhamento e estabelecimento da cultura, iii) período de grande crescimento (exigindo grande necessidade de água) e iv) maturação fisiológica. No primeiro estádio, a cultura fica mais sensível ao déficit hídrico, quando ocorre o estabelecimento inicial das plantas em campo: enraizamento e emergência dos brotos (SEGATO et al., 2006).

Mozambani et al. (2006) destacam que o segundo estádio, pode ser considerado o mais resistente, por já ter ocorrido o estabelecimento definitivo da cultura, enquanto que o último estádio, a maturação, pode ser estimulada por fatores ambientais como o estresse hídrico, assim, quando a cana-de-açúcar atinge o ponto de crescimento adequado, a suspensão da irrigação promove a maturação.

Por isso, a aplicação de água no momento adequado e em quantidade necessária será de fundamental importância para o sucesso da cana-de-açúcar irrigada. O manejo da irrigação visa monitorar alguns fatores no solo e na planta, de forma a responder duas perguntas básicas em irrigação: quando e quanto irrigar?

Quanto ao manejo de irrigação, Dalri (2006) relata que longos intervalos entre irrigações podem criar um elevado déficit de água no solo e, consequentemente, um estresse hídrico na cultura, prejudicando a exploração do seu máximo potencial produtivo.

De acordo com Caldwell et al. (1994), a consequência da elevada umidade no solo será uma deficiência na sua aeração, podendo resultar em diminuição no volume do sistema radicular e redução na produção. Leiva e Barrantes (1998) afirmam, em um trabalho realizado na Venezuela, que a frequência de irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar deve ser entre três e cinco dias.

Procurando aperfeiçoar o uso da água e a frequência das irrigações em sistema de gotejamento subsuperficial, Dalri et al. (2008) observaram que lâminas de 10, 20 e 30 mm não proporcionam efeito significativo na produtividade. Para turno de irrigação com alta frequência, o sistema radicular será induzido a ficar estável. Para turno de irrigação com frequência mais longa, o sistema radicular será forçado a ocupar maior volume de solo para absorver água e suprir as necessidades hídricas da planta.

Considerando a importância da umidade do solo para o crescimento e o desenvolvimento das culturas, espera-se que a irrigação aumente em até 100% a produtividade da cana-de-açúcar, contribuindo com o aumento do número de cortes e mantendo alta produção, viabilizando os investimentos com a implantação do sistema.

Não existe um sistema de irrigação ideal, pois cada um pode ser caracterizado pelas vantagens e limitações que apresentam em relação aos demais. Algumas variáveis, como: clima, solo, topografia, energia disponível na propriedade, mão-de-obra, disponibilidade e qualidade da água, determinam a escolha de um sistema de irrigação, visando sempre o compromisso de manter elevados os níveis de uniformidade e eficiência de aplicação da água ao menor custo possível (DALRI, 2006).

Em cana-de-açúcar, a irrigação deve ser suspensa antes da colheita para reduzir a compactação do solo e aumentar o teor de sacarose (Robertson et al., 1999). Este processo é chamado "*off secagem*" não sendo visto como uma medida de economia de água, e sim uma forma de melhorar o teor de sacarose da cana-de-açúcar.

2.9 Gotejamento subsuperficial

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial "subsurface drip irrigation" (SDI) é o mais recente, mais sofisticado e eficiente utilizado na agricultura irrigada, sendo capaz de promover as maiores produtividades com maior eficiência no uso da água. No SDI, a água é aplicada diretamente no sistema radicular da cultura através do uso de tubos de polietileno enterrado (Payero, 2005), em pequenas intensidades (1 a 20 L h^{-1}), porém com alta frequência, de modo a manter a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo (BERNARDO et al., 2008).

Nesse sistema, a aplicação da água é feita por meio de tubos perfurados com pequenos orifícios ou por meio de gotejador inserido na mangueira,

existindo diferentes tipos, modelos e características que trabalham com pressões variando entre 5 e 40 mca (BERNARDO et al., 2008).

O SDI é uma variação do tradicional gotejamento, em que os tubos são enterrados a uma profundidade de 15 cm a 40 cm, a depender da cultura, ao invés de ficarem superficialmente. Por se tratar de uma prática relativamente nova em cana-de-açúcar, deve ser estudada quanto ao manejo da água e da cultura, bem como ao dimensionamento do projeto de irrigação (DALRI, 2006).

Quando bem projetado, instalado e administrado corretamente, o SDI pode apresentar eficiência superior a 95%. Comparando o SDI com aspersão convencional na cultura do sorgo, Colaizzi et al. (2003) verificaram que sob déficit hídrico o SDI resultou em maiores rendimentos e, com irrigação plena, não houve aumento de produtividade no sistema convencional.

A irrigação por gotejamento pode economizar água, energia, mão-de-obra e consequentemente, aumentar os lucros. Esta atividade vem sendo usada por muitos produtores, devido às suas vantagens: redução da perda de água por evaporação (menor área molhada), redução no escoamento superficial, facilidade no uso de máquinas agrícolas e de fertirrigação, redução na germinação de sementes de plantas daninhas, na incidência de pragas e doenças, menor consumo de água, maior disponibilidade de nutrientes e maiores produtividades (DALRI, 2006).

Apesar do número de vantagens apresentado pelo SDI, existem alguns problemas que devem ser levados em consideração na tomada de decisão de sua implantação. Os mais importantes são: alto custo de implantação, qualidade da água a ser utilizada, intrusão de raízes e a sucção das partículas de solo pelos gotejadores quando o sistema é desligado (BERNARDO et al., 2008).

Estudando o efeito do SDI em cana-de-açúcar, Dalri (2001) observou que a irrigação proporcionou um incremento de massa fresca de colmos e folhas em média 45% maior que a testemunha (sem irrigação). Em relação ao manejo de sequeiro em cana-planta, primeira e segunda soca, os incrementos na produtividade foram de 58,53%; 43,50% e 67,16%, respectivamente. Aguiar (2006) relata que o ganho obtido com o SDI através do aumento da produtividade e da longevidade do canavial pode reduzir em 15% a 25% o custo da tonelada de cana produzida.

2.10 Análise econômica em cana-de-açúcar irrigada

O rendimento econômico da cana-de-açúcar é dado pela produção de sacarose, componente mais valioso da cultura, além de açúcares não redutores utilizados para formar o melaço e também a fibra, que pode ser utilizada como fonte de energia para a própria usina. O processamento industrial da cana pode também ser direcionado para a produção de etanol, utilizado como combustível (RODRIGUES, 1995).

Muitos países produtores de cana-de-açúcar ainda apresentam baixas produtividades considerando o potencial produtivo das variedades melhoradas geneticamente, tendo como causa a falta ou a má distribuição da precipitação pluvial, o que pode ser amenizada com o uso da irrigação.

Frizzone et al. (2001) observaram aumento na produtividade e longevidade do canavial, redução significativa de custos com arrendamentos de terra, preparo de solo, plantio, tratos culturais, mão-de-obra e transporte da cana nos canaviais irrigados. Por outro lado, essa atividade requer alto custo de implantação e manutenção dos sistemas levando as empresas a expandirem suas áreas em vez de verticalizar a produção.

Scardua (1985) apud Matioli (1998) demonstrou a viabilidade econômica da irrigação suplementar em cana-de-açúcar, principalmente no primeiro estádio de desenvolvimento, quando ocorre a brotação e o perfilhamento, responsável pela formação dos colmos industrializáveis.

A produção das culturas em resposta à aplicação de água depende de vários fatores: quantidade e frequência de irrigação, método de aplicação, estádio de desenvolvimento da cultura, variabilidade do solo e condições climáticas. Assim sendo, para realização de um estudo econômico de uma cultura quanto ao uso de determinado insumo, é interessante delimitar a região de produção racional que mostre as diversas combinações dos fatores e dos respectivos rendimentos, que permitam a obtenção dos melhores resultados econômicos (FRIZZONE, 1993).

2.11 Função de produção

As primeiras aplicações do método função de produção ou função resposta em agricultura concentraram-se nas pesquisas avaliando o rendimento das culturas em função da aplicação de fertilizantes ao solo. Em seguida outros fatores foram incluídos,

dentre eles, a irrigação (QUEIROZ et al., 1996). Portanto, o elemento básico para esta análise é a função resposta da cultura em relação ao consumo de água, já que a planta responde diferentemente a quantidades de irrigação durante o seu ciclo fenológico, refletindo diretamente em seu rendimento.

A utilização da função de produção permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e na previsão de rendimentos das culturas. Trabalhos de pesquisa apontam recomendações genéricas que visam a obtenção de produtividades físicas máximas, sem qualquer preocupação com os fatores econômicos. A utilização da irrigação, com base nessas informações, pode torná-la economicamente inviável, uma vez que o ótimo econômico, geralmente, não corresponde à máxima produtividade física.

Função resposta das culturas é a relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, para uma determinada tecnologia. Dessa forma, supondo que a função resposta representa o máximo que se pode obter com o uso de uma combinação de insumos, está se definindo uma relação funcional entre os insumos e o produto (FRIZZONE, 1993). No entanto, estas funções são representadas por equações algébricas que podem assumir diversas formas a depender do solo, do clima, da cultura e dos tratos culturais (AGUIAR, 2005), dentre estas, as funções polinomiais de graus diversos têm sido muito utilizadas na estimativa de função de produção na agricultura.

A função de produção aplicada à agricultura irrigada visa à maximização de uma determinada quantidade de produto, a partir da disponibilidade de certa quantidade de recursos (água, adubo etc), sempre buscando maior receita líquida. Existe uma distinção entre processo de produção e função de produção. Processo indica quanto de cada fator é preciso para produzir certa quantidade de produto, enquanto função de produção estabelece o máximo de produto que se pode obter a partir de uma quantidade de fatores (AGUIAR, 2005).

A avaliação econômica da irrigação envolve a quantificação da produtividade em resposta ao total de água consumida. A caracterização da resposta da cultura à aplicação de água tem sido amplamente conhecida como função de produção água-cultura (SOUSA et al., 1999). Dentre os modelos estatísticos, aqueles que melhor se ajustam à relação água-produtividade e que são mais utilizados nas análises econômicas das pesquisas agrícolas são: quadrático, raiz quadrada e potência 3/2 (Hexem e Heady, 1978), dentre estes, destaca-se o modelo quadrático.

Aguiar (1999) encontrou uma função quadrática de retornos decrescentes para a cultura do feijão caupi irrigado na região de Bragança (PA). Faria (1991) trabalhando com trigo na região de Piracicaba (SP) e Gomes (2000) com algodão em Pentecoste (CE) observaram que a equação polinomial de segundo grau representou melhor a relação entre a produtividade e a quantidade de água aplicada via irrigação.

Teodoro (2011) trabalhando com lâminas de irrigação por gotejamento e doses de nitrogênio com a variedade de cana-de-açúcar RB92579 na região de Rio Largo (AL) observou que a equação polinomial de segundo grau e raiz quadrada representam bem a produção de cana em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, com r^2 superior a 95%.

Sousa et al. (1999) concluíram que a equação polinomial de segunda ordem ajustou satisfatoriamente à relação entre produtividade de colmos e de açúcar, com a lâmina total de água aplicada, com r^2 médio de 76% para a produção de colmos e de 78% de açúcar, na região de Campos dos Goytacazes (RJ). A literatura relata que em trabalhos experimentais, o rendimento das culturas e a lâmina de água aplicada têm sido bem representados por uma relação polinomial quadrática.

2.12 Eficiência no uso da água (EUA)

A EUA (kg m^{-3} ou mm t^{-1} ha^{-1}) é definida como a relação entre a produtividade de uma cultura (kg ha^{-1} ou t^{-1} ha^{-1}) e o volume total de água consumido nos processos fisiológicos de produção (m^3 ha^{-1}). De acordo com Doorembos e Kassam (1979), nos trópicos e subtrópicos secos, a EUA para cana-de-açúcar, em solos com 80% de água disponível, varia de 5 a 8 kg m^{-3} em termos de colmos, e de 0,6 a 1 kg m^{-3} em sacarose.

Farias et al. (2008) relatam que a EUA na produção de colmos e de açúcar diminui à medida que se eleva a lâmina total de água aplicada. Além de ser o principal constituinte do protoplasma, a água participa de muitas reações químicas, responsáveis pela turgescência celular. Portanto, a redução na sua absorção tem como consequência à desidratação celular, comprometendo os processos fisiológicos e os componentes do crescimento das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2006).

A contribuição da irrigação no aumento da produção de alimentos é um fato inegável. Christofidis (2001) relata que 18% da área agrícola do mundo eram irrigadas, sendo responsável pela produção de aproximadamente 42% do montante de

alimentos. Por outro lado, a crescente necessidade de água nas cidades e indústrias ameaça a utilização desse insumo na irrigação, que é responsável pelo consumo de aproximadamente 69% da água.

No entanto, a irrigação como uma grande usuária dos recursos hídricos vem sendo apontada como uma das principais causas do uso irracional deste recurso. Bernardo et al. (2008) relatam que o desenvolvimento da irrigação está dependente de procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, melhorar a eficiência de aplicação e proporcionar ganhos de produtividade sem comprometer a disponibilidade e a sua qualidade.

Diante a crescente escassez, a EUA é um índice bastante utilizado pelos pesquisadores. Segundo Srinivas et al. (1989), dentre as técnicas adotadas para elevar esse índice na agricultura irrigada, está o uso do gotejamento. Para Sousa et al. (1999) a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante o ciclo da cultura, reduzem as perdas de água e o período de estresse, aumentando a EUA.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

O campo experimental está situado na Fazenda São Francisco, localizada na estrada Cleto Galli a 12 km da Rodovia Assis Chatobriand, Penápolis (SP). O município de Penápolis esta localizado na região noroeste do Estado de São Paulo (21º15’00”S; 50º02’00”W e 415m de altitude), a 478 km da capital, possui cerca de 60.000 habitantes e uma área de 71.082,6 ha (IBGE, 2011). Deste total, aproximadamente 40.000 hectares são destinados ao cultivo da cana-de-açúcar (CANASAT, 2010).

A condição climática do município, baseado no sistema de classificação climática de Wladimir Köppen, é do tipo Aw, caracterizada como tropical chuvoso com inverno seco e temperaturas variando entre 16,8ºC e 30,2ºC e, precipitação pluvial anual média de 1.312 mm (DAEP, 2011). Embora em termos totais esse suprimento hídrico atenda às exigências da cana-de-açúcar, ocorre um excedente hídrico entre outubro a março quando a precipitação equivale a 71% do total anual, e uma deficiência entre abril a setembro, coincidindo com a fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar que tem maior exigência hídrica (Figura 1).

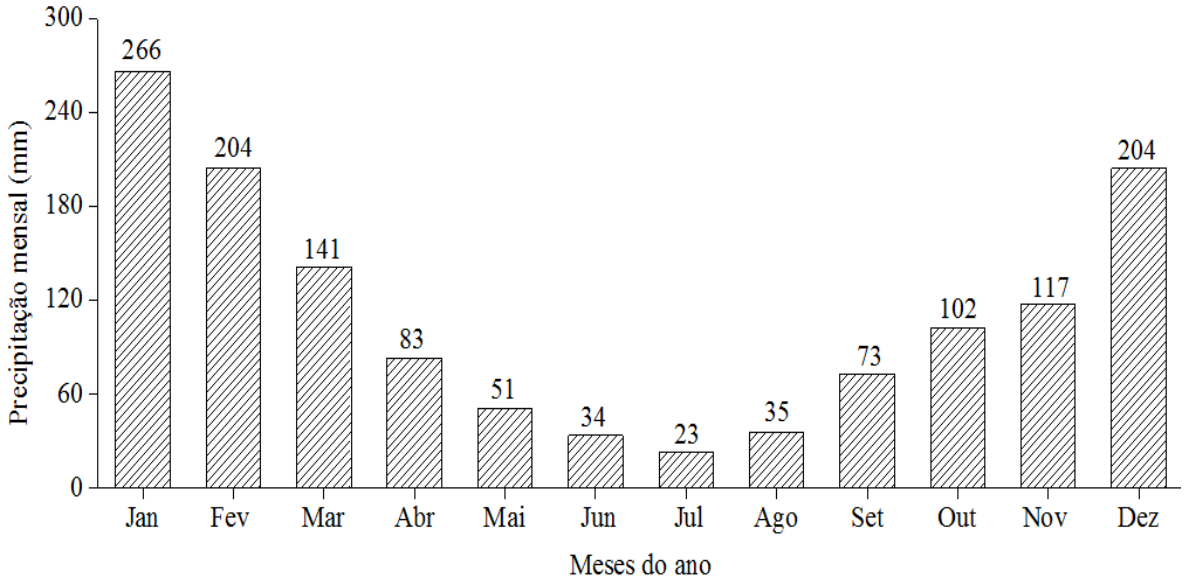

Figura 1 - Precipitação pluvial média mensal ocorrida entre os anos 1990 e 2011 na região de Penápolis - SP.

O solo em que foi instalado o experimento com cana-de-açúcar era utilizado como pasto e foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico apresentando textura média e relevo suavemente ondulado, cujas características físico-químicas encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, no setor Ciência do Solo do Departamento de Produção Vegetal da UNESP de Botucatu, aos 180 dias antes do plantio, 80 dias após o plantio (DAP) e após a colheita da cana-de-açúcar.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental (macronutrientes).

Camadas	pH	M.O	H+Al	P_{resina}	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
(cm)	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mmolc dm^{-3}	---------- mg dm^{-3} ----------							
*0 - 20	5,0	14	25	4,0	2,8	22	5,0	29	55	54	-
**0 - 20	6,3	43	15	12	3,4	51	19	73	88	83	8,0
**20 - 40	5,4	24	22	7,0	2,9	36	11	50	72	69	12
***0 - 20	5,4	23	17	22	1,9	37	14	53	70	75	7,0
***20 - 40	5,0	13	19	2,0	1,5	29	5,0	36	55	66	11

*180 antes do plantio, **80 dias após o plantio, ***após a colheita

Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental (micronutrientes).

Camadas	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
(cm)	---------- mmolc dm^{-3} ----------				
0 - 20	0,17	1,30	25	23,90	0,50
0 - 20	0,35	1,90	24	11,30	1,50
20 - 40	0,34	2,10	24	12,90	0,70
0 - 20	0,08	1,30	24	16,90	1,20
20 - 40	0,10	1,00	13	20,90	0,20

Tabela 3 - Características físicas do solo da área experimental em diferentes profundidades.

Camadas	Areia	Silte	Argila	Densidade do solo	CAD do solo
(cm)	---------- g kg^{-1} ----------			------- kg m^{-3} --------	------- mm -------
0 - 20	679	122	199	1,61	23,33
20 - 40	646	120	234	1,49	31,33
40 -60	612	98	290	1,36	40,66
60 - 80	611	92	297	1,42	36,00
80 - 100	615	94	291	1,45	43,33

3.2 Preparo de solo, plantio e adubação

O preparo do solo constituiu-se por três práticas agrícolas: gradagem aradora, subsolagem e gradagem niveladora. Para gradagem aradora foi utilizada uma grade de arrasto com 14 discos de 32 polegadas, com a finalidade de virar a leiva do solo e destruir as plantas daninhas. Para a subsolagem utilizou-se um subsolador de cinco hastes visando à melhoria na velocidade de infiltração básica (VIB) e a aeração do solo. A grade niveladora utilizada foi de 16 discos de 26 polegadas, deixando a leiva do solo preparada para a abertura dos sulcos e instalação das mangueiras de irrigação (Figura 2).

Figura 2 - Vista parcial da área experimental após o nivelamento.

Para a abertura do sulco de plantio foi utilizado um sulcador duplo espaçado a 0,6 m que realizava abertura de duas linhas de plantio (Figura 3).

Figura 3 - Abertura de sulcos (à esquerda) e sulcos prontos (à direita).

A calagem do solo foi realizada 150 dias antes do plantio e constou de uma dosagem de 350 kg ha^{-1} de calcário dolomítico, com PRNT de 100%, sendo calculada de acordo com a análise química do solo (Tabela 1), com o objetivo de elevar a 60% o índice de saturação por bases (V%) do solo e elevar os teores de cálcio e magnésio ao nível adequado a planta e neutralizar os efeitos nocivos do alumínio e do manganês.

Após a abertura dos sulcos foi realizado a adubação, de acordo com a análise química de solo (Tabela 1), seguindo a recomendação de Raij et al. (1997), colocando-se 30 kg ha^{-1} de N na forma de uréia, 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo, e 120 kg ha^{-1} K_2O na forma de cloreto de potássio, visando uma produtividade superior a 150 t ha^{-1}. O plantio foi realizado no dia 11 de maio de 2010, seguindo o sistema tradicional de plantio irrigado “tipo-abacaxi” adotado por algumas usinas sucroalcooleiras (Figura 4).

Figura 4 - Sistema de plantio da cana-de-açúcar.

O material vegetal foi distribuído no sulco a 25 cm de profundidade considerando a interseção "pé e ponta" para melhorar a brotação, de maneira a se obter entre 12 a 15 gemas por metro linear e consumir em torno de 14 t ha^{-1} de semente. Após serem colocadas no sulco o material foi picado com facão e seccionados em toletes de 3 gemas. Em seguida foi feito a aplicação do inseticida Regent 800 WG, com pulverizador costal e uma dose de 250 g ha^{-1}. Utilizou-se o espaçamento que combina linhas duplas distintas de 0,60 m entre si e 1,40 m entre as duplas, de modo que a linha de gotejamento ficava a 2 m entre si, ou seja, uma mangueira gotejadora era utilizada em duas linhas de plantio (Figura 5).

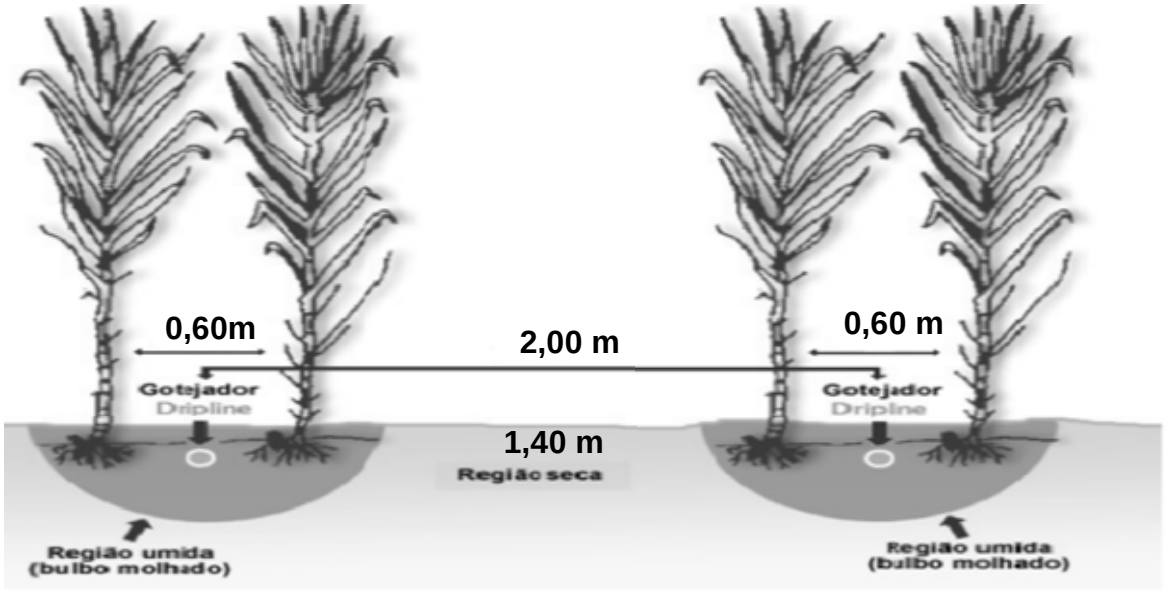

Figura 5 - Instalação das mangueiras gotejadoras.

Decorridos 90 DAP realizou-se a adubação de cobertura, de acordo com a análise química de solo (Tabela 1), nesta época o adubo foi aplicado superficialmente ao lado da linha de plantio e incorporado ao solo a 10 cm de profundidade. Foi aplicado um total de 600 kg ha^{-1} da fórmula (08 28 16), onde foi colocado 30 kg ha^{-1} de N, 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} K_2O.

3.3 Controle das plantas daninhas

A cultura foi mantida livre de plantas daninhas no período experimental, por meio da aplicação de herbicida pós-emergente (glyphosate), e por meio de capinas manuais onde não era possível colocar o herbicida.

3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados no esquema fatorial (2 x 7), duas variedades de cana-de-açúcar (RB965902 e RB855453), sete lâminas de irrigação (L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100%, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc), e quatro repetições. Cada parcela era composta por oito linhas de 10 m de comprimento. A área útil foi formada pelas quatro linhas centrais da parcela desprezando-se o primeiro metro de cada linha para a avaliação final.

3.5 Características agronômicas e tecnológicas das variedades

3.5.1 RB965902 (RB855536 x RB855453)

É uma variedade que apresenta excelente brotação e alto perfilhamento tanto em cana-planta quanto em soca, com bom fechamento nas entrelinhas. Possui porte alto, hábito de crescimento semi-decumbente e rápida velocidade de crescimento. Tem alta produtividade agrícola, fibra média, PUI médio e maturação precoce, com ausência de florescimento e pouca isoporização. Recomenda-se o seu plantio em ambiente de médio a alta potencial produtivo. Possui elevada resistência às principais doenças (DAROS et al., 2010), Figura 6.

Figura 6 - Características morfológicas de variedades de cana-de-açúcar RB965902 (esquerda) e RB855453 (direita).

3.5.2 RB855453 (TUC71-7 X ?)

Essa variedade apresenta ótima brotação, médio perfilhamento, porte médio e rápido desenvolvimento, com colmos arroxeados e entrenós curtos, com muita cera, despalha média com gema pouco saliente, folhas verde escuras, de largura e comprimento médios. Possui hábito de crescimento ereto, bom fechamento nas entrelinhas, ótima brotação das soqueiras, garantindo a longevidade dos canaviais. Porte médio,

maturação precoce, florescimento frequênte, alto teor de sacarose, médio teor de fibra e alta produtividade com recomendação de colheita entre maio a julho (DAROS et al., 2010).

3.6 Implantação do sistema de irrigação

Os trabalhos tiveram início em março de 2010 com a construção de uma rede elétrica de baixa tensão trifásica medindo 450 m de comprimento para conduzir energia até o manancial e permitir o acionamento da moto-bomba. Em seguida foi construída uma rede hidráulica de 400 m de comprimento com tudo de PVC de 50 mm PN 80 a uma profundidade de 30 cm entre a fonte de água e a área experimental e uma casa de alvenaria medindo 3 m^2 por 1 m de altura para proteção do moto-bomba. Com o acionamento elétrico a água era succionada pela bomba por uma tubulação de 75 mm e conduzida até a área experimental. Posteriormente, realizou-se a montagem dos cavaletes com registros de gaveta e com hidrômetros para o controle das lâminas de irrigação aplicadas em cada tratamento (Figura 7).

Figura 7 - Vista dos cavaletes com os hidrômetros.

Após a montagem dos cavaletes, foram colocados 6 tubos de 32 mm dando sequência à condução da água a cada tratamento. Daí realizou-se a distribuição das mangueiras na área experimental considerando a posição de cada tratamento nos diversos blocos.

A mangueira utilizada foi da marca NaanDan, com emissores do tipo “in line” inseridos na tubulação de polietileno espaçados a 50 cm com vazão de 1,42 L h^{-1} (autocompensantes) a uma pressão de serviço entre 5 e 25 mca (Figura 8), colocadas a 30 cm de profundidade após a sulcagem do solo.

Figura 8 - Vista dos emissores do tipo “in line” (esquerda) e distribuição das mangueiras no suco (direita).

3.7 Manejo da irrigação

Os dados meteorológicos de precipitação pluvial (P), de temperatura média (Tm) e de umidade relativa do ar média (UR%) foram obtidos na área experimental por uma estação meteorológica da DAVIS INSTRUMENTS, que fazia medidas a cada 15 segundos e armazenava médias a cada 10 minutos. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada diariamente pelo método do *“Tanque Classe A”*, corrigido pelo coeficiente de correção do tanque (Kp) conforme Snyder (1992), Equação 1.

$$ET_O = ECA \text{ X } Kp \qquad \text{(Equação 1)}$$

em que: Kp = 0,482 + 0,024 X Ln (F) - 0,00037 U (Km dia^{-1}) + 0,0045 UR%; F = Distância da área de bordadura (10 m); U = velocidade do vento a 2 m de altura (Km dia^{-1}); UR = Umidade relativa do ar média (%).

A evapotranspiração da cultura (ETc, mm dia^{-1}) foi estimada de acordo com a ETo local e o coeficiente da cultura (Kc), Equação 2. Os valores do kc utilizados nos diversos estádios de desenvolvimento da planta e que permitiram converter os valores de ETo em ETc, foram definidos por Doorenbos e Kassam (1994), conforme Tabela 4.

$$ETc = ETo \times Kc \quad (2)$$

Tabela 4 - Valores de kc para a cultura da cana-de-açúcar em diversas fases de desenvolvimento, no ciclo da cana-planta.

Idade da cultura (dias)	Meses	Coeficiente da cultura (kc)
0 - 43	Maio/junho	0,40
44 - 66	Junho/julho	0,75
67 - 89	Julho/agosto	0,90
90 - 155	Agosto/set/out	1,00
156 - 281	Out/nov/dez/jan/fev	1,25
282 - 305	Fev/mar	1,00
306 - 320	Mar	0,70
321 - 360	Mar/abr	Sem irrigação

Fonte: Adaptado de Doorembos e Kassam (1994)

A irrigação teve início após o plantio, sem considerar os tratamentos propostos no trabalho para facilitar a brotação dos toletes e formação dos perfilhos garantindo uma melhor uniformidade do canavial. Para isso, foi aplicada uma lâmina de irrigação equivalente a CAD do solo, considerando apenas 60 cm de profundidade, onde se encontra aproximadamente 85% do sistema radicular da cana-de-açúcar (KOFFLER, 1986).

Aos 60 DAP, iniciaram-se os tratamentos, adotando-se um turno de irrigação fixo e lâminas variáveis. As irrigações eram feitas a cada 2 dias. A chuva foi medida por um pluviômetro instalado na área experimental (Tabela 5).

Tabela 5 - Precipitação pluvial (P) e lâminas de irrigação, em cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, entre maio de 2010 e de 2011.

Meses	P	Lâminas de irrigação (mm)						
	(mm)	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
Maio	0,00	0,00	24,17	24,17	24,17	24,17	24,17	24,17
Junho	0,00	0,00	32,96	32,96	32,96	32,96	32,96	32,96
Julho	2,00	0,00	17,24	34,49	51,73	68,97	86,22	103,46
Agosto	0,00	0,00	28,97	57,95	86,92	115,90	144,88	173,85
Setembro	161,38	0,00	28,25	56,51	84,76	113,01	141,27	169,53
Outubro	119,36	0,00	21,50	42,99	64,49	85,99	107,49	128,99
Novembro	77,90	0,00	1,31	2,61	12,98	43,26	73,54	103,82
Dezembro	170,76	0,00	5,65	13,85	22,06	30,26	38,47	51,04
Janeiro	412,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	211,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Março	255,64	0,00	2,25	4,51	6,76	9,02	0,00	13,53
Abril	42,50	0,00	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Maio	0,00	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Soma	1.453,74	1.453,74	162,3	270,04	386,83	523,54	660,27	801,35
Total	1.453,74	1.453,74	1.616	1.723,78	1.840,5	1.977,2	2.114	2.255

L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125%, L_6 = 150% da ETc e SI = sem irrigação.

3.8 Variáveis analisadas

As avaliações de perfilhamento, altura de colmo e índice de área foliar (IAF) tiveram início aos 30 dias após o início dos tratamentos, exceto o diâmetro de colmo que ocorreu apenas aos 360 DAP. Para a determinação da altura das plantas, mediu-se a distância do solo até a última região auricular visível da folha +1, segundo a numeração sugerida por Kuijper (Figura 9), com auxílio de trena, e em seguida realizou-se a contagem do número de plantas.

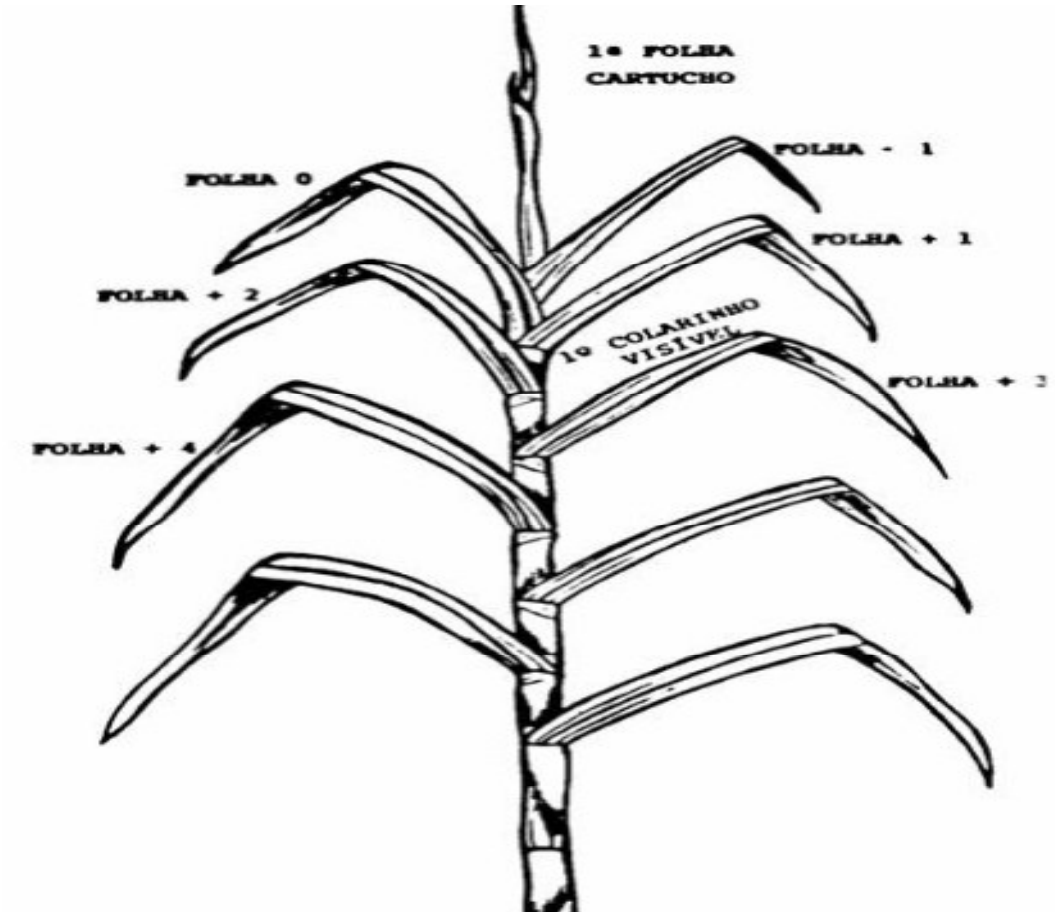

Figura 9 - Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper.

A área foliar por planta foi determinada pela medida do comprimento e da largura, na porção mediana da folha +3 e, contando-se o número de folhas verdes (folhas expandidas com o mínimo 20% de área verde, contada a partir da folha +1), aplicando-se a fórmula: AF = C x L x 0,75 x (N + 2), em que: C é o comprimento da folha, L é a largura da folha e 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde (HERMANN e CÂMARA, 1999).

O IAF foi obtido dividindo-se a área foliar total das plantas pela área do terreno ocupada por elas. Para a determinação do diâmetro de colmo foram realizadas medições na altura correspondente a 1/3, a partir da base, com auxílio de paquímetro. Para as avaliações descritas anteriormente foi utilizado todas as plantas existentes na área de avaliação da parcela (1 metro linear).

3.9 Matéria seca e produtividade agrícola

Para a determinação da matéria seca total foram retiradas todas as plantas em 1 metro linear, as quais foram pesadas e moídas em moinho, em seguida obteve-se uma sub-amostra de 500g que foi colocada em estufa de ventilação forçada a 65°C até peso constante, e pesada em balança analítica. A produtividade foi determinada nas quatro linhas centrais da parcela (36 metros lineares), aos 360 DAP e, em seguida, o material foi pesado com dinamômetro e auxílio de uma carregadeira (Figura 10).

Figura 10 - Pesagem da cana-de-açúcar em campo.

3.10 Análise econômica

A viabilidade econômica nas diferentes lâminas de água na cultura da cana-de-açúcar foi determinada pela comparação entre a relação custo/beneficio dos tratamentos que apresentaram melhor produtividade em função do consumo hídrico. Para obtenção dos custos de implantação do canavial e do sistema de irrigação, foi realizada uma pesquisa de preços no comércio para todos os insumos utilizados, custo com operações realizadas por máquinas agrícolas e equipamentos de irrigação.

A composição dos custos operacionais envolveu os seguintes fatores: consumo de água, energia elétrica, mão-de-obra e manutenção do sistema de irrigação. Os custos da água consumida e da energia elétrica foram obtidos por uma consulta à Agência Nacional das Águas (ANA) em três bacias que contempla os rios

Piracicaba, Paraíba do Sul, Capivari e Jundiaí, do Estado de São Paulo e a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), respectivamente.

Os valores utilizados foram de R$ 0,01 m^{-3} de água aplicado e R$ 0,1775 kWh^{-1} de energia elétrica, considerando o preço da energia rural. Para o projeto de irrigação foi considerada uma potência instalada de 1,5 CV ha^{-1} e um consumo de 736 Watts CV^{-1}. O preço da cana no campo foi definido como o valor médio da tonelada durante o período da colheita do ano 2011.

3.11 Análise estatística

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas e de regressão para escolha da equação de ajuste para a produtividade agrícola, utilizando-se o programa estatístico Sisvar, e os gráficos foram plotados com auxílio do programa computacional Origin. Quando houve diferenças significativas pelo teste F, ($P < 0,05$) aplicou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para a comparação entre as médias dos tratamentos.

4 CAPÍTULO 1 - CRESCIMENTO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, NO ESTADO DE SÃO PAULO

GROWTH AND YIELD COMPONENTS OF SUGARCANE VARIETIES UNDER DIFFERENT DEPHT IRRIGATION IN THE STATE OF SÃO PAULO

4.1 RESUMO - Objetivou-se neste trabalho avaliar o crescimento e os componentes de produção de duas variedades de cana-de-açúcar no primeiro ciclo de cultivo, submetidas a diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis. O trabalho foi desenvolvido numa área experimental de 0,5 hectare, em solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, de textura média. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com arranjo fatorial (2 x 7), com duas variedades (RB965902 e RB855453) e sete lâminas de irrigação (L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc), com quatro repetições. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com vazão de 1,42 L h^{-1} e autocompensante na faixa de 5 e 25 mca. As variáveis obtidas foram: perfilhamento, altura de plantas, índice de área foliar (IAF), mensuradas durante a condução do experimento, e diâmetro do colmo, acúmulo de matéria seca, produção de açúcar, teor de água e produtividade agrícola, ao final do ensaio. Verificou-se que o máximo perfilhamento ocorreu aos 120 dias após plantio para a

variedade RB965902 e 150 DAP para a RB855453, que apresentou diâmetro de colmo superior quando submetida a uma lâmina de irrigação equivalente a 75% da ETc, e a RB965902 a uma lâmina de 125%. A variedade RB855453 foi superior a RB965902 para a produção de açúcar, matéria seca e produtividade agrícola. No entanto, as variedades foram semelhantes quanto ao teor de água na folha e ATR.
Palavras-chave: gotejamento, análise de crescimento, matéria seca, *Saccharum spp.*

4.2 ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the growth and yield components of two sugarcane varieties in the first cycle under different irrigation levels in Penapolis. The study was conducted in an experimental area of half hectare, on a soil classified as Typic Hapludox, medium texture. The experimental design was a randomized block with factorial arrangement (2 x 7), with two varieties (RB965902 and RB855453), seven irrigation depths (L_0 = control, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% and L_6 = 150% ETc) and four replications. The irrigation system used was the subsurface drip with a flow rate of 1.42 L h^{-1} and self-compensating emitter with a pressure ranging from 5 to 25 mca. The variables obtained were: tillering, plant height, leaf area index (LAI), stem diameter, dry matter accumulation, sugar, water content and yield. The results showed the maximum tillering occurred at 120 days after sowing for the variety RB965902 and 150 DAS for RB855453. The RB855453 presented stem greater diameter when submitted to a water depht equivalent to 75% of ETc and RB965902 to 125% of ETc. The RB855453 was superior to RB965902 for the sugar production, dry matter and yield. However, the varieties were similar in the water content in the leaf and total recoverable sugar (TRS).
Key Words: drip, growth analysis, dry matter, *Saccharum spp*.

4.3 - INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica para o Brasil, que é o maior produtor mundial da cultura e também de açúcar e etanol, gerando empregos e divisas. O Estado de São Paulo é responsável por 55% de toda a cana processada para produção de açúcar e álcool no país, sendo considerado o maior produtor. Na safra 2011/2012, São Paulo foi responsável por uma produção de 305,6 milhões de toneladas de cana, numa área de aproximadamente 4,37 milhões de hectares (CONAB, 2012).

Nos últimos anos o setor sucroenergético vem sofrendo com problemas de diversas naturezas, dentre eles, o déficit hídrico, pois, nem sempre às chuvas atendem as necessidades hídricas da cultura. Mesmo regiões com alto índice pluviométrico ocorrem má distribuição, que limita o desenvolvimento e reduz a produtividade. Daí a importância do uso da irrigação, que quando bem manejada e aliada à variedade adequada, possibilita excelente retorno econômico.

O aumento da produção de cana no Brasil não passa necessariamente pela ampliação da área, uma vez que a implantação de sistemas de irrigação mais eficientes e o desenvolvimento de novas variedades podem elevar a produtividade média que ainda é considerada baixa (67 t ha^{-1}). A baixa produtividade decorrente do estresse hídrico é consequência das reduções da área foliar, da interceptação de luz, da taxa fotossintética e consequentemente do baixo IAF, uma vez que as plantas de metabolismo C_4 apresentam elevada eficiência fotossintética quando bem suprida de radiação, de temperatura e de água (SEGATO et al., 2006).

Apesar do alto nível tecnológico utilizado na produção canavieira, o setor ainda carece de muitas informações, especialmente quanto ao conhecimento dos fatores de crescimento da cana-de-açúcar submetida a diferentes condições hídricas. Diversos trabalhos realizados no Brasil avaliaram apenas os componentes de produção, sem considerar o comportamento fisiológico durante o desenvolvimento da cultura (DANTAS NETO et al., 2006; DALRI et al., 2008; TEODORO, 2011). Assim sendo, a análise de crescimento é uma ferramenta fundamental, por permitir a avaliação sequencial nas diversas fases de desenvolvimento da planta (SANTOS et al., 2009).

A análise de crescimento aplicada à cana-de-açúcar permite avaliar e quantificar as taxas de crescimento em diferentes condições ambientais, possibilitando comparar variedades, sendo ainda, considerado um método padrão para se medir a produtividade biológica de outras espécies vegetais (Oliveira et al., 2004), visto que as informações são obtidas sem a necessidade de equipamentos sofisticados ou ambiente especializado (PEREIRA e MACHADO, 1987).

O conhecimento do comportamento da cana-de-açúcar durante o ciclo vegetativo permite estabelecer um manejo adequado e com isso melhorar a eficiência na adubação, irrigação e época de plantio, para que a fase de grande crescimento coincida com o período de maior disponibilidade hídrica em cultivo de sequeiro (RAMESH, 2000).

A cana-de-açúcar pode ser influenciada por diferentes lâminas de irrigação na fase inicial de crescimento (DANTAS NETO et al., 2006; GONÇALVES et al., 2009), além disso, o desenvolvimento morfofisiológico também tem sido afetado pelo regime hídrico, reduzindo 41,5% no perfilhamento e 37,7% no número de colmos industrializáveis, comparando o cultivo de sequeiro com o irrigado (FARIAS et al., 2008).

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e os componentes de produção de variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis, São Paulo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda São Francisco, situado no município de Penápolis, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo (21º 15' 00" S, 50º 02' 00" W e 415 m de altitude), numa área de 0,5 hectare, cujo solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura arenosa média, cujas características químicas se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental.

Características do solo	Camadas (cm)		
	*0 - 20	**0 - 20	**20 - 40
pH	5,0	6,3	5,4
M.O (g dm^{-3})	14	43	24
P_{resina} (mg dm^{-3})	4,0	12	7,0
H+Al (mmolc dm^{-3})	25	15	22
K (mmolc dm^{-3})	2,8	3,4	2,9
Ca (mmolc dm^{-3})	22	51	36
Mg (mmolc dm^{-3})	5,0	19	11
SB (mmolc dm^{-3})	29	73	50
CTC (mmolc dm^{-3})	55	88	72
V%	54	83	69
S (mg dm^{-3})	-	8,0	12

*180 antes do plantio, **80 dias após o plantio.

A calagem foi realizada 150 dias antes do plantio e constou de uma dosagem de 350 kg ha^{-1} de calcário dolomítico, visando elevar a 60% o índice de saturação por base (V%) do solo. O preparo do solo foi constituído por três práticas agrícolas: gradagem aradora, subsolagem e gradagem niveladora.

Após a abertura dos sulcos realizou-se a adubação de acordo com a análise química do solo (Tabela 1), segundo Raij et al. (1997), colocando-se 30 kg ha^{-1} de N na forma de uréia, 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo e 120 kg ha^{-1} K_2O na forma de cloreto de potássio.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial (2 x 7), sendo duas variedades (RB965902 e RB855453) e sete lâminas de irrigação (L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc), com quatro repetições. Cada parcela foi composta por oito linhas de 10 m lineares, e a área útil foi formada pelas quatro linhas centrais, retirando-se o metro inicial.

O plantio foi realizado no dia 11 de maio de 2010, seguindo o sistema tradicional de plantio irrigado "tipo-abacaxi". O material vegetal foi distribuído no sulco a 25 cm de profundidade considerando a interseção "pé e ponta" para melhorar a brotação, de maneira a se obter entre 12-15 gemas por metro linear, e consumir em torno de 14 t ha^{-1} de cana semente. Após colocado no sulco, o material foi picado com facão e seccionado em toletes de três gemas. Em seguida foi feito a aplicação do inseticida Regent 800 WG, com pulverizador costal a uma dosagem de 250 g ha^{-1}. Utilizou-se o espaçamento que combina linhas duplas distintas de 0,60 m entre si por 1,40 m entre as duplas, em que uma mangueira gotejadora irrigava duas linhas de plantio.

Decorridos 90 dias após o plantio (DAP), realizou-se a adubação de cobertura, cujo adubo foi incorporado ao lado da linha de plantio, num total de 600 kg ha^{-1} da fórmula 08 28 16, colocando-se 30 kg ha^{-1} de N, 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} K_2O.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial, com mangueiras gotejadoras da marca NaaDan, que tem gotejadores inseridos em sua parede, espaçados a 50 cm e vazão de 1,42 L h^{-1} a uma pressão variando entre 5 a 25 mca (autocompensantes).

Os dados meteorológicos de precipitação (P), de temperatura média (Tm) e de umidade relativa do ar (UR%) utilizado para estimar a evapotranspiração de referência (ET_O) e fazer o manejo da irrigação, foram obtidos por uma estação meteorológica da marca DAVIS INSTRUMENTS, com medições a cada 15 segundos e armazenamento de médias a cada 10 minutos. A ETo foi estimada diariamente (Equação 1) pelo método do Tanque Classe ''A" cujo coeficiente de correção (Kp) utilizado foi o de Snyder (1992).

$$ETo = ECA \times Kp \qquad \text{(Equação 1)}$$

em que:

ETo = Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

Kp = Coeficiente de correção do Tanque.

em que:

Kp = 0,482 + 0,024 X Ln (F) - 0,00037 U (Km dia^{-1}) + 0,0045 UR%;

F = Distância da área de bordadura (10 m);

U = velocidade do vento a 2 m de altura (Km dia^{-1});

UR = Umidade relativa média diária do ar (%).

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada de acordo com a ETo local e o coeficiente da cultura (Kc) (Equação 2). Os valores do kc nos diversos estádios de desenvolvimento da planta, permitem converter a ETo em ETc, conforme Doorenbos e Kassam (1994) (Tabela 2).

$$ETc = ETo \times Kc \qquad \text{(Equação 2)}$$

Em que:

ETc = Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

Kc = Coeficiente da cultura.

Tabela 2 - Valores de Kc para a cultura da cana-de-açúcar em diversas fases de desenvolvimento, em primeiro ciclo de cultivo.

Idade da cultura (dias)	Meses	Coeficiente da cultura (Kc)
0 - 43	mai/jun	0,40
44 - 66	jun/jul	0,75
67 - 89	jul/ago	0,90
90 - 155	ago/set/out	1,00
156 - 281	out/nov/dez/jan/fev	1,25
282 - 305	fev/mar	1,00
306 - 320	mar	0,70
321 - 360	mar/abr	Sem irrigação

Fonte: Adaptado de Doorembos e Kassam (1994).

A irrigação teve início após o plantio, sem considerar os tratamentos propostos no trabalho e para facilitar a brotação dos toletes e a formação dos perfilhos. Para isso, foi aplicada uma lâmina de irrigação equivalente à capacidade de água disponível (CAD) do solo, considerando uma camada de 0 a 60 cm, onde se encontram aproximadamente 85% do sistema radicular da cultura (KOFFLER, 1986).

Aos 60 DAP, iniciaram-se os tratamentos, adotando-se um turno de irrigação fixo a cada dois dias com os níveis de irrigação variáveis, suspendendo a irrigação quando a ETc era inferior a precipitação.

As avaliações de perfilhamento, altura de colmo e índice de área foliar (IAF) tiveram início aos 90 DAP, exceto diâmetro do colmo que foi avaliado na colheita. Para a determinação da altura do colmo, mediu-se a distância do solo até a última região auricular visível da folha +1, com auxílio de trena, e em seguida, realizou-se a contagem do número de plantas em um metro linear.

O IAF foi determinado segundo Hermann e Câmara (1999) a partir da determinação da área foliar (AF) das plantas, medindo o comprimento e a largura na porção mediana da folha +3, e contando-se o número de folhas verdes (folha totalmente expandida com no mínimo 20% de área verde, contada a partir da folha +1), aplicando-se a fórmula AF = C x L x 0,75 x (N + 2) em que: C é o comprimento da folha; L é a largura da folha e 0,75 é o fator de correção, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde. O IAF foi obtido, dividindo-se a área foliar total das plantas pela área ocupada no terreno.

A determinação do diâmetro do colmo foi realizada na altura correspondente a 1/3 a partir da base. Para a matéria seca total e teor de água foram retiradas todas as plantas em 1 metro linear, as quais foram pesadas e trituradas em picadeira. Em seguida, obteve-se uma subamostra de 500g que foi colocada em estufa de ventilação forçada a 65 °C até peso constante. A produtividade agrícola foi determinada nas quatro linhas centrais da parcela aos 360 DAP.

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando o programa sisvar, e quando houve efeito significativo pelo teste F ($P < 0,05$) aplicou-se o teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade para a comparação entre as médias. Os gráficos foram plotados com o auxílio do programa computacional origin.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas

Na Tabela 3 é possível observar a distribuição da chuva, da irrigação e da temperatura média do ar ao longo do ciclo fenológico da cultura (360 dias). A precipitação pluvial acumulada foi de 1.453,75 mm, resultando num total de 1.977,29 mm de água na

lâmina de 100% da ETc. Este volume de água se encontra dentro da faixa recomendada por diversos autores para o ciclo da cana-de-açúcar, pois um suprimento hídrico anual entre 1.500 a 2.000 mm são suficientes para a obtenção de ótimas produtividades (DOOREMBOS e KASSAM, 1994; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005), no entanto a distribuição foi irregular (Tabela 3).

Observa-se também que as irrigações predominaram entre os meses de julho a outubro, quando as plantas estavam entre 90 e 180 DAP, em seguida foi reduzindo até a fase final do experimento. As maiores quantidades de chuva ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro e março. A partir do mês de janeiro a precipitação praticamente foi suficiente para atender às necessidades hídricas da cultura até o momento da colheita, e nesse período, houve apenas uma irrigação de 9,02 mm no mês de março.

Durante o experimento, o total precipitado foi de 1.453,75 mm, cerca de 141,94 mm (9,76%) acima da média do mesmo período entre os anos de 1990 a 2011 que foi de 1.311,81 mm. No período chuvoso ocorreram 1.409,21 mm que representaram 96,93% das chuvas, enquanto no período seco, o total precipitado foi de apenas 44,50 mm, ou seja, 3,06% do total durante a condução do experimento, sendo que no mês de janeiro choveu 412,56 mm e nos meses de maio e junho de 2010 e maio de 2011 não houve precipitação (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição da precipitação pluvial, irrigação e da temperatura média mensal do ar em cana-planta, entre maio de 2010 e de 2011.

Meses	Precipitação (mm)	*Irrigação (mm)	Temperatura do ar (ºC)
Maio	0,00	24,17	20,00
Junho	0,00	32,96	20,50
Julho	2,00	68,97	21,08
Agosto	0,00	115,90	21,62
Setembro	161,38	113,01	23,73
Outubro	119,35	85,99	23,96
Novembro	77,90	43,26	28,97
Dezembro	170,75	30,26	27,63
Janeiro	412,56	0,00	27,60
Fevereiro	211,64	0,00	26,85
Março	255,63	9,02	24,79
Abril	42,50	0,00	24,64
Maio	0,00	0,00	21,08
Totais	1.453,75	523,54	

*Irrigação representa a lâmina equivalente a 100% da ETc.

Verificou-se baixa variação da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura, com máxima de 28,97ºC no mês de novembro e mínima de 20ºC em maio de 2010. A temperatura base para a cana-de-açúcar está em torno de 20ºC. O crescimento ótimo é alcançado com temperatura média diária entre 22-30ºC, nessas condições a cultura apresenta o máximo crescimento, contudo abaixo de 20ºC e acima de 38ºC não há crescimento (Doorenbos e Kassam, 1994; Rodrigues, 1995), sendo considerada uma cultura exigente em temperatura. Assim sendo, a baixa condição hídrica do solo aliada à elevada temperatura do ar são as variáveis que mais contribuem para as baixas produtividades da cana-de-açúcar.

Para as regiões Sul e Sudeste brasileiras, temperaturas entre 18-20°C são críticas para o crescimento da cana-de-açúcar (BACHI e SOUZA, 1978). Desta forma, a variação da temperatura média observada durante o ciclo da cultura no qual foi conduzido o experimento está dentro da faixa indicada para a cana-de-açúcar e, de acordo com Magalhães (1987) esta variável meteorológica deve ser entre 20-30ºC. Assim sendo, verifica-se que a temperatura não foi limitante.

4.5.2 Perfilhamento da cana-de-açúcar

Os resultados do perfilhamento por metro linear para as variedades em estudo estão apresentados na Figura 1. Para a variedade RB965902, pode-se observar que o pico máximo ocorreu aos 120 DAP em todos os tratamentos. No entanto, a lâmina de 100% da ETc foi a que apresentou melhor perfilhamento (30 perfilhos por metro linear), e a equivalente a 150% da ETc foi inferior às demais com apenas 23 plantas. Em seguida o perfilhamento foi reduzindo até o momento da colheita, quando se verificou uma redução de 60% para o tratamento L_4 e 50% para L_6, com valores médios de 10,5 e 11,5 plantas por metro linear, respectivamente.

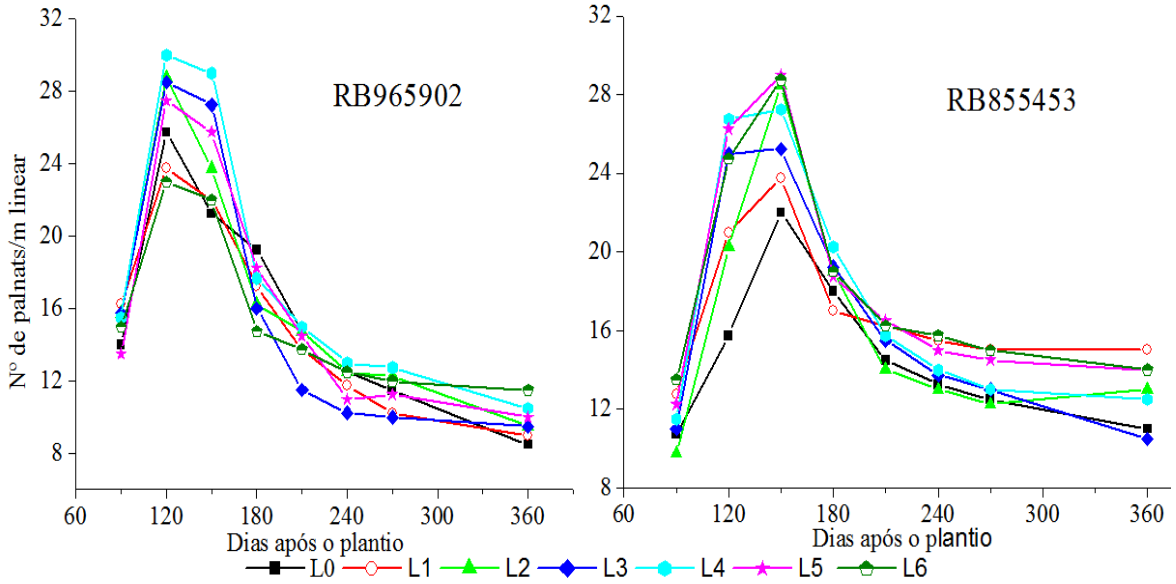

Figura 1 - Número de plantas por metro linear de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

Esta tendência de comportamento tem sido observada em diversos trabalhos com cana-de-açúcar. Em cana-planta irrigada por sulcos, tem-se obtido máximo perfilhamento de 24 colmos por metro linear e mínimo de 14 colmos para tratamentos irrigados e não irrigados, respectivamente (Leme et al., 1982), e estes foram inferiores aos obtidos no presente trabalho para ambas as variedades (Figura 1).

Aos 360 DAP a lâmina de irrigação equivalente a 150% da ETc foi superior e, a testemunha (sem irrigação) inferior aos demais tratamentos. Apesar da lâmina L_6 apresentar valores inferiores em alguns momentos de avaliação, ela conseguiu superar os demais tratamentos neste período. Algumas variedades de cana-de-açúcar atingem o seu pico máximo aos 120 DAP (CASAGRANDE, 1991). Assim sendo, os resultados observados para a variedade RB965902 podem ser considerados representativos.

Os resultados obtidos no presente trabalho para a variedade RB965902 corroboram com Orlando Filho e Rodella (1995) que observaram máximo perfilhamento de 20-30 plantas por metro linear aos quatro meses após o plantio, e que em seguida foi reduzindo até o momento da colheita.

Assim sendo, a análise de variância para o perfilhamento mostrou que houve efeito significativo para os tratamentos apenas em duas épocas de avaliação. Aos 120 DAP os tratamentos L_1 e L_2 foram semelhantes e inferiores aos demais, que também não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Já

aos 150 DAP houve semelhança entre os tratamentos L_3, L_4 e L_5 que foram superiores aos demais (Apêndice 1).

Para a variedade RB855453, o pico máximo de perfilhos ocorreu aos 150 DAP e, neste momento, os tratamentos L_5 e L_6 apresentaram os maiores números de plantas por metro linear, que foram de 29 e 28,75 respectivamente, enquanto a testemunha (L_0) apresentou o menor número (22 plantas). Após esse período, todos os tratamentos apresentaram redução no perfilhamento até o momento da colheita.

As porcentagens de reduções observadas foram de 51,72% para o tratamento L_5, 51,32% para o L_6 e 50% para a testemunha. A variedade RB855453 apresentou aumento do número de plantas à medida que aumentou a disponibilidade hídrica. Por outro lado, ao final do experimento, o maior número de plantas foi observado no tratamento L_1, e menor no L_3.

Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2004) o máximo perfilhamento ocorreu aos 182 DAP para as variedades RB855113 e RB855536 e aos 231 para a RB72454 com valores médios de 19,6; 23 e 14 plantas por metro linear, respectivamente. Os mesmos autores verificaram que houve redução de 27% na variedade RB72454, 52% na RB855113 e 57% na RB855536 entre o máximo perfilhamento e a colheita. Este comportamento está relacionado com o aumento da competição intra-específica pelos fatores de crescimento, como: água, luz, nutrientes e espaço, levando à morte aqueles perfilhos mais jovens, fracos e mal posicionados.

O máximo perfilhamento pode ser alcançado num período inferior aos obtidos no presente trabalho, como foi observado por Ramesh e Mahadevaswamy (2000), que estudarem o comportamento fisiológico da variedade Co8208 e verificaram que o máximo perfilhamento ocorreu aos 120 DAP sob estresse hídrico severo e moderado, e aos 90 DAP quando não houve estresse, com valores de 31; 28 e 34 plantas por metro linear, respectivamente. Segundo esses autores, cultivares com menor perfilhamento, além de apresentarem menor porcentagem de mortalidade, possuem perfilhos com maior altura, maior diâmetro de colmo e maior massa seca.

O número máximo de perfilhos num período relativamente curto foi obtido por Silva et al. (2008) aos 90 DAP, com 19 plantas por metro linear para a variedade RB72454 e 21 para a IAC86-2480, iniciando uma intensa redução até a colheita. Por outro lado, Dalri et al. (2008) observaram que o máximo perfilhamento para a variedade RB72454 ocorreu aos 270 DAP, com 27 e 22 plantas por metro linear, para o tratamento irrigado e sequeiro,

respectivamente. O máximo perfilhamento encontrado num período ainda menor que os trabalhos anteriores, foi obtido por Marques et al. (2007) aos 60 DAP para seis variedades de cana-de-açúcar, obtendo um valor médio de 28,32 plantas por metro linear.

A variação encontrada entre os autores para o perfilhamento pode ser resultado da interação entre temperaturas elevadas e irregularidades pluviométricas ocorridas em cada região onde os trabalhos foram conduzidos (Suguitani, 2001), além das características genéticas das variedades estudadas (OLIVEIRA et al., 2007).

É possível observar na Figura 1, que sob as mesmas condições hídricas a variedade RB965902 apresentou o máximo perfilhamento aos 120 DAP, enquanto que para a variedade RB855453 esta característica só é observada aos 150 DAP. Por outro lado, o maior número médio de plantas no momento da colheita foi verificado na variedade RB855453, que foi de 12,8.

A análise de variância mostrou significância em três épocas de avaliação para a variedade RB855453. No entanto, aos 120 DAP o tratamento L_0 foi inferior, L_1 e L_2 intermediário, L_3, L_4, L_5 e L_6 superiores. Aos 150 e 360 DAP verificaram-se apenas dois grupos de tratamentos: o grupo composto pelos de menores valores (lâminas L_0, L_1 e L_3) e o outro, constituído pelos demais tratamentos. No momento da colheita, aos 360 DAP, os tratamentos L_0 e L_3 foram semelhantes e inferiores aos demais e não apresentaram efeito significativo.

De maneira geral houve uma redução média de aproximadamente 50% na população de colmos para ambas as variedades, entre o máximo perfilhamento e o momento da colheita. Machado et al. (1982) observaram que a população de colmos decresceu acentuadamente no período em que o IAF praticamente duplicou, indicando que possivelmente o contínuo aumento do número de colmos nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura tenha sido reflexo da pequena área foliar em plantas novas.

4.5.3 Altura de colmos

Com a redução do perfilhamento a partir dos 120 DAP para a variedade RB965902 e dos 150 DAP para a RB855453, teve início o intenso alongamento do colmo. Após o estabelecimento da cultura, ou seja, máximo perfilhamento, a planta começa a utilizar suas reservas em crescimento vertical, com taxas diferenciadas para as variedades e lâminas de irrigação (Figura 2). Entretanto, para ocorrer um rápido crescimento na fase de

perfilhamento as plantas necessitariam de características morfológicas que favorecessem a interceptação da radiação solar (Oliveira et al., 2005), e nessa fase as folhas além de serem poucas são muito pequenas.

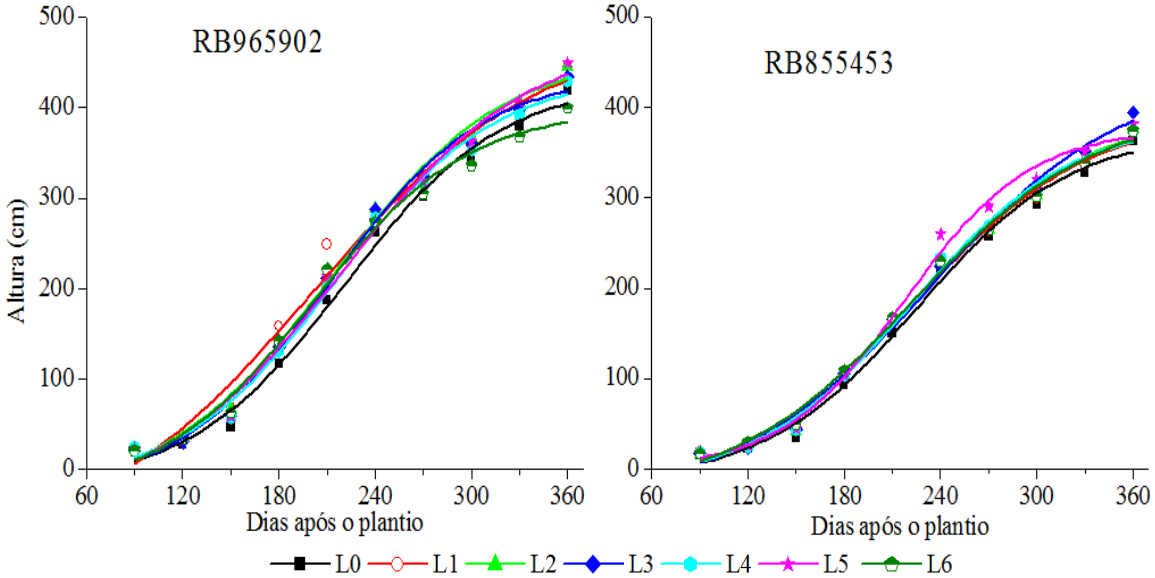

Figura 2 - Altura média de colmos (cm), de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

As três fases de crescimento ocorreram em diferentes épocas para ambas as variedades. A variedade RB965902 apresentou a primeira fase (máximo perfilhamento) até os 120 DAP, com altura média de 32,90 cm. Nessa fase a lâmina de irrigação (L_2) proporcionou a maior taxa de crescimento (0,30 cm dia^{-1}) e a L_0 a menor (0,23 cm dia^{-1}). Nesta fase, o crescimento foi lento devido à pequena área foliar nas plantas jovens, uma vez que as plantas ainda estavam pequenas e as folhas pouco expandidas. Para Oliveira et al. (2005) o crescimento lento nesta fase está relacionado às características morfológicas do dossel da planta que não favorece a interceptação da radiação solar.

A segunda fase ocorreu entre os 120 e 270 DAP. Nesse período o crescimento foi rápido e linear com um incremento médio de 282,79 cm, sendo que a lâmina L_3 foi superior às demais, com uma taxa de crescimento de 1,96 cm dia^{-1} e a L_6 inferior com 1,81 cm dia^{-1}. Esta mesma característica de desenvolvimento também foi observada por Machado et al. (1982); Alvarez e Castro (1999) e Inman-Bamber et al. (2002) e, os autores afirmam que a elongação do colmo coincide com o período de maior área foliar.

A terceira fase (maturação) ocorreu entre os 270 e 360 DAP. De maneira geral, o processo de maturação foi caracterizado pela estabilização do perfilhamento, que

praticamente se manteve a partir dos 270 DAP (Figura 1). O crescimento foi reduzido, onde se observou um incremento médio de 116,04 cm e uma taxa de crescimento máximo de 1,45 cm dia^{-1} para a lâmina de irrigação L_5 e mínima de 1,05 cm dia^{-1} para a lâmina L_6. Este comportamento ocorreu devido ao direcionamento dos fotoassimilados para o acúmulo de sacarose, em detrimento a redução na elongação dos colmos (KEATING et al., 1999). Na fase de crescimento rápido e maturação, a lâmina de irrigação equivalente a 150% da ETc proporcionou as menores taxas de crescimento.

As características varietais e os fatores ambientais desempenham papel fundamental no crescimento e desenvolvimento dos vegetais. A variação na taxa de crescimento das duas variedades de cana-de-açúcar mostrou uma curva sigmóide do tipo determinado nas três diferentes fases de crescimento da cultura (Figura 2), pois essa mesma tendência também foi observada por outros autores com diversas variedades (MACHADO et al., 1982; ROBERTSON et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2004).

O processo de redução na taxa de crescimento da cana-planta ocorreu de forma natural, sem aparente influência das condições hídricas que cada tratamento foi submetido (Figura 2), entretanto a duração de cada fase depende das condições climáticas. Santos et al. (2009) verificaram que o rápido crescimento teve inicio a partir dos 120 DAP, uma vez que a população já tinha se estabelecido. Os mesmos autores relatam que as maiores taxas de crescimento do colmo foram observadas no período entre 120 e 240 DAP.

Oliveira et al. (2004) também verificaram maior crescimento após a fase de perfilhamento quando a variedade RB855536 cresceu 99,2 cm em apenas 44 dias. Farias et al. (2008) encontraram altura de 40 cm aos 98 dias na variedade SP79-1011, atingindo alturas máximas de 152,8 cm aos 194 DAP e 148,1 cm aos 236 DAP em cultivo irrigado e de sequeiro, respectivamente.

A análise de variância para a variedade RB965902 em diversas fases de desenvolvimento da cultura mostrou que houve efeito significativo entre os tratamentos. Os resultados estatisticamente maiores nem sempre foram obtidos pelos tratamentos que receberam maior volume de água. Dessa forma, apenas aos 120 DAP, os tratamentos L_1, L_2, L_4, L_5 e L_6 foram semelhantes e superiores aos tratamentos L_0 e L_3 (Apêndice 2). Nas demais épocas de avaliação, apesar do maior valor não ser verificado no tratamento L_6, verificou-se estatisticamente que os menores valores de altura foram observados no tratamento L_0 aos 210 e 270 DAP.

A variedade RB855453 apresentou a primeira fase de desenvolvimento até os 150 DAP, nesta época de avaliação as plantas apresentaram altura média de 43,74 cm, e a lâmina L_6 proporcionou a maior taxa de crescimento (0,33 cm dia^{-1}) e a testemunha a menor (0,24 cm dia^{-1}). Nesse período de desenvolvimento, a variedade RB855453 apresentou maiores taxas de crescimento em função do aumento da irrigação.

A segunda fase de crescimento ocorreu entre 150 e 300 DAP, onde foi observado um incremento médio de 260,59 cm, e que a lâmina L_5 proporcionou a maior taxa de crescimento (1,84 cm dia^{-1}) e a L_0 a menor taxa (1,68 cm dia^{-1}).

A terceira fase de crescimento para a variedade RB855453 ocorreu entre 300 e 360 DAP. Nesse período, o incremento médio foi de 72,02 cm, e a maior e menor taxa de crescimento foram observadas pelas lâminas de irrigação L_3 e L_5 (1,41 e 1,02 cm dia^{-1}) respectivamente. Para a variedade RB855453 apenas na primeira fase de crescimento a lâmina de irrigação máxima proporcionou a maior taxa. No período de grande crescimento de cana-planta na região de Paranavaí (PR) Oliveira et al. (2005) verificaram taxas de elongação do colmo de 1,6 cm dia^{-1} na variedade RB855113; 1,8 cm dia^{-1} na RB855536 e 2,0 cm dia^{-1} na RB72454, atribuindo o efeito da redução na taxa de elongação ao aumento do auto-sombreamento durante o período de maturação. Essas taxas de elongação do colmo, bem como a mortalidade dos perfilhos em cana-de-açúcar têm sido bastante afetadas pelo déficit hídrico na Índia (Ramesh e Mahadevaswamy, 2000).

Considerando o crescimento médio total das duas variedades de cana-de-açúcar, observou-se uma grande semelhança na porcentagem de crescimento em cada fase de desenvolvimento. Na primeira fase a porcentagem de crescimento foi de apenas 7,62% e 11,62%, na segunda fase 65,50% e 69,24% e na terceira foram de 28,87% e 19,14% para as variedades RB965902 e RB855453, respectivamente.

Com relação aos tratamentos observados em diferentes épocas de avaliação, verificou-se que a variedade RB855453 quando submetida a 150% da ETc foi estatisticamente superior aos demais tratamentos entre 150 e 210 DAP. No entanto, aos 120 DAP houve semelhança entre os tratamentos L_1, L_2, L_5 e L_6 que apresentaram os maiores valores. Assim sendo, o tratamento L_0 estatisticamente também apresentou o menor valor de altura em todas as épocas de avaliação (Apêndice 2).

Comparando as duas variedades, observa-se que sob a mesma condição hídrica, elas apresentam respostas diferenciadas nas diversas fases de desenvolvimento. Em função deste comportamento, a variedade RB965902 foi menos afetada quando submetida aos

tratamentos, apresentando maiores taxas de crescimento, enquanto a variedade RB855453 apresentou porte inferior na colheita (Figura 2). A variação na altura da planta é um indicativo de tolerância ou suscetibilidade da cultura ao déficit hídrico (SILVA et al., 2008). Diante dos resultados observados na Figura 2, verificou-se que em relação à altura, a variedade RB855453 foi mais suscetível.

4.5.4 Índice de área foliar (IAF)

A Figura 3 apresenta o comportamento do IAF das duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes umidades do solo ao longo do ciclo de cultivo. Este índice é de fundamental importância na interceptação da radiação solar utilizada no processo fotossintético e de grande interesse para eficiência da conversão de energia solar em biomassa. O máximo IAF ocorreu em diferentes períodos de desenvolvimento, aos 210 e 240 DAP respectivamente, para as variedades RB965902 e RB855453. Observou-se que o aumento da irrigação não proporcionou o máximo IAF nas diversas épocas de avaliação (Figura 3).

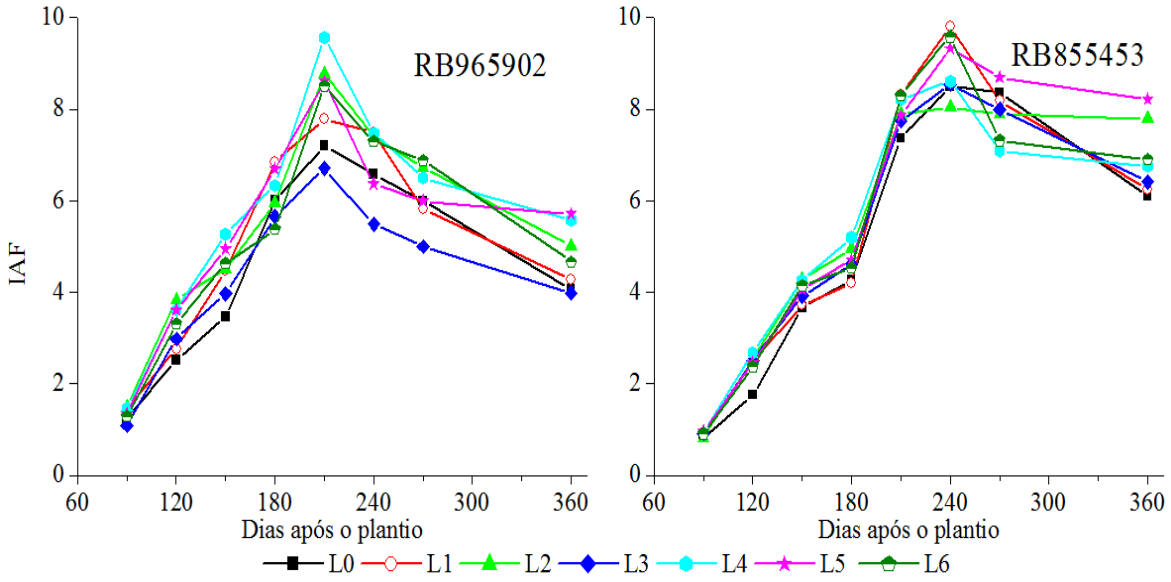

Figura 3 - IAF de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

A variedade RB965902 apresentou crescimento linear até os 210 DAP, onde se verificou IAF com valores médios de 8,17. O IAF máximo (9,57) foi observado quando a

cultura foi irrigada o equivalente a 100% da ETc, e o mínimo (6,71) com 75% da ETc. Em seguida os tratamentos começam declinar até o momento da colheita (Figura 3).

A redução observada entre o máximo IAF e na colheita foi de 41,63% e 40,60% para os tratamentos 100% e 75% respectivamente. Portanto, se o número de plantas por metro linear começou a reduzir a partir dos 120 DAP (Figura 1), momento em que o IAF continua em crescimento acelerado (Figura 3), fica evidente que esta variável foi influenciada pelo aumento do número de folhas e pela dimensão da área foliar das plantas. Aos 360 DAP a lâmina de irrigação equivalente a 125% foi superior às demais, com IAF de 5,72; enquanto a de 75% foi inferior (3,99), sendo observado um valor médio de 4,76.

A variedade RB855453 apresentou três fases de crescimento para o IAF. A primeira fase ocorreu entre o plantio e 180 DAP (Figura 3) marcada por um crescimento lento, onde o IAF médio observado foi de 4,64. Os valores máximos e mínimos foram verificados nas lâminas de 100% (5,2) e 25% (4,2). Em seguida, iniciou-se a segunda fase de desenvolvimento, marcada por um crescimento rápido e linear entre os 180 e 240 DAP, época em que o máximo IAF foi observado no tratamento L_1, equivalente a 25% da ETc (9,81), e o mínimo pelo L_2, equivalente a 50% da ETc (8,05). Na terceira fase começou o processo de redução, até o momento da colheita, onde se observou valores médios de 6,92 e máximos de 8,22 para o tratamento de 125% e mínimo de 6,10 para a testemunha. A redução observada entre o máximo e o mínimo perfilhamento obtidos aos 240 DAP e na colheita foram de 36,27% para o tratamento L_1 e 3,08% para o L_2.

Como o IAF possivelmente foi influenciado pela área foliar e pelo número de folhas, uma vez que o perfilhamento começou a reduzir aos 120 e 150 DAP, verifica-se na Figura 3 que a senescência foliar pode ocorrer em diferentes épocas, sofrendo pouca influência da restrição hídrica.

Os valores de IAF máximo encontrados no presente trabalho foram superiores aos obtidos em cana-planta por Robertson et al. (1999) que detectaram IAF máximo de 4,92; por Farias et al. (2008) que obtiveram IAF máximo de 6,82 sob irrigação plena aos 152 DAP e 6,80 em condição de sequeiro aos 147 DAP e por Oliveira et al. (2004) que observaram para a variedade RB72454 e RB855113 IAF máximo de 4,8 e 5,8 aos 377 DAP, respectivamente e 4,5 aos 323 DAP para a variedade RB855536.

Para outras variedades de cana-de-açúcar em diferentes ciclos de cultivo, alguns autores têm encontrado em cana-planta valores máximos para IAF de 4,9 aos 120 DAP (Santos et al., 2009) e 4,3 aos 170 DAP (LEME et al., 1982). Enquanto em cana-soca,

Almeida et al. (2008) também obtiveram 6,0 aos 210 DAP. É possível observar um período de alto crescimento do IAF até os 210 DAP para a variedade RB965902 e 240 DAP para a RB855453, pois neste período a taxa de emissão de folhas possivelmente foi superior a de senescência, e este mesmo comportamento também foi observado por Machado et al. (1982). Tal fato evidencia que a dimensão do aparato fotossintético se estabeleceu em boa parte do período que ocorreu maiores taxas de crescimento para ambas as variedades, visando uma maior captação de energia solar disponível, além de permitir um rápido fechamento da copa, o que reduz o número de plantas daninhas.

Por esta razão, no período de máximo desenvolvimento da cultura, o IAF deve situar-se entre 9,0 e 12, havendo uma tendência parabólica do IAF durante o ciclo das culturas anuais, com valores baixos no início, atingindo um pico, e em seguida reduzindo até a colheita (FORMAGGIO, 1989). Para Gomide e Gomide (1999) esta redução no número de folhas e da área foliar seriam em razão da idade avançada das folhas, aliada ao aumento da atividade respiratória.

Neste sentido, Machado et al. (1982) relatam que o IAF ideal estaria em torno de 4,0; o que seria suficiente para interceptar aproximadamente 95% da radiação solar incidente. De maneira geral, entre a fase inicial de crescimento e o momento em que se completa a interceptação da radiação pelas folhas, a taxa de produção de fotossintetizados aumenta até um valor máximo em função do IAF.

A magnitude e a duração do IAF estão fortemente relacionadas com a capacidade do dossel em interceptar radiação fotossinteticamente ativa. Portanto, o IAF está correlacionado com a fotossíntese do dossel e com o acúmulo de matéria seca, em situações onde não predominam o estresse (TAVARES, 2009).

Para ambas as variedades, os tratamentos apresentaram efeito significativo aos 120, 150, 210 e 360 DAP. Contudo, apenas aos 210 DAP a variedade RB855453 apresentou resultados significativos com maior IAF no tratamento L_6, porém foi semelhante aos tratamentos L_1 e L_4. De maneira geral, os menores valores do IAF foram verificados na testemunha (L_0).

4.5.5 Diâmetro de colmo

O diâmetro do colmo é a variável que apresenta menor variação, por depender das características genéticas da planta, do número de perfilhos, do espaçamento e das

condições climáticas. Foram observadas diferenças significativas entre as variedades apenas em duas lâminas de irrigação (L_3 e L_5) (Figura 4).

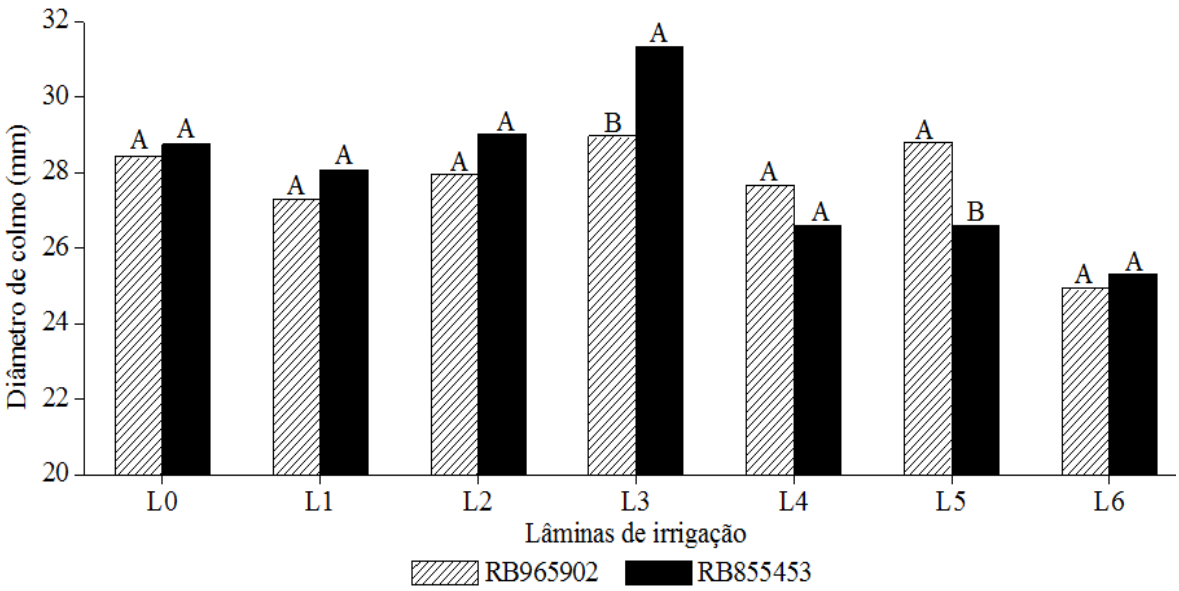

Figura 4 - Diâmetro médio de colmo, de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

As variedades RB855453 e RB965902 apresentaram os maiores diâmetros de colmo quando submetidas a uma lâmina de irrigação equivalente a 75% da ETc, com valores médios de 31,33 e 28,96 mm, respectivamente, e em seguida começaram a reduzir com o aumento da irrigação, quando se observou valores de 24,92 mm para a variedade RB965902 e 25,31 mm para a RB855453, no tratamento de 150% da ETc.

Os resultados obtidos neste trabalho se aproximam daqueles encontrados por Oliveira et al. (2004) com cana-planta em regime de sequeiro na região de Paranavaí (PR) que verificaram diâmetro de 30,4 mm para a variedade RB72454; 28,9 mm para a RB855113 e 27,3 mm para a RB855536, aos 377 DAP.

Ramesh e Mahadevaswamy (2000) trabalhando com quatro variedades de cana-de-açúcar na Índia também encontraram valores similares ao presente trabalho, que foram de 27,6 mm em plantas submetidas ao estresse severo, 28 mm ao estresse moderado e 29,3 mm em ótimas condições de umidade de solo. Ao se observar a Figura 4, fica evidente que o diâmetro do colmo não apresentou aumento com a aplicação de uma lâmina de água superior a 75% da ETc em ambas as variedades.

Tavares (2009) trabalhando com a variedade RB867515 observou que o diâmetro de colmo apresentou uma aparente estabilização a partir dos 120 DAP até a colheita,

verificando valores médios de 26 mm. Rodrigues (1995) relata que as características varietais da cultura também podem definir o número de plantas, altura, diâmetro do colmo, comprimento e largura das folhas, arquitetura do dossel, e a expressão destes caracteres são influenciadas pelo clima, manejo e práticas culturais, podendo refletir diretamente no rendimento agrícola.

4.5.6 Produtividade versus variáveis de crescimento

A produtividade apresentou relação direta com as variáveis de crescimento, e esta relação difere entre as variedades. Observa-se na Figura 5, que a variedade RB855453 submetida a uma lâmina de irrigação equivalente a 75% obteve maior produtividade (189,26 t ha^{-1}), e que possivelmente foi influenciada pela maior altura entre os tratamentos (394,17 cm) e pelo maior diâmetro de colmo (31,33 mm) aos 360 DAP (Figuras 5A e 5C).

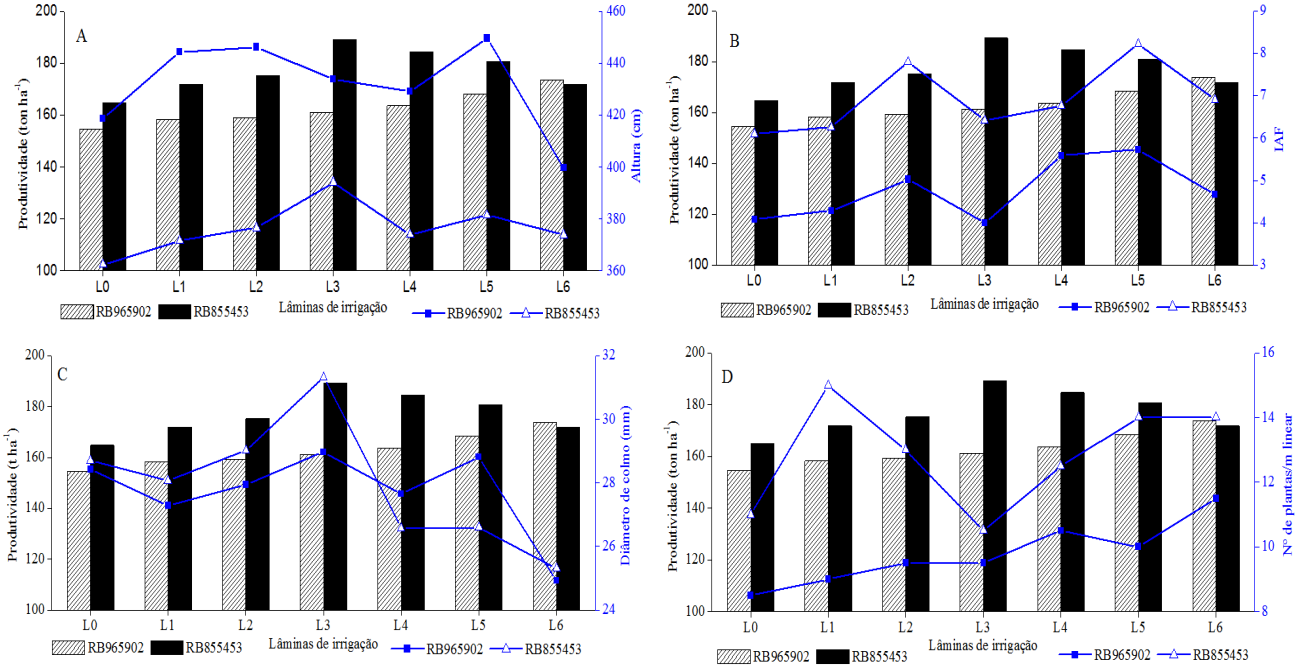

Figura 5 - Relação entre as variáveis de crescimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a diferentes lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

Para a variedade RB965902 o aumento da produtividade ocorreu à medida que se aumentou a lâmina de irrigação, observando-se na Figura 5D um rendimento máximo de 173,73 t ha^{-1}, e o maior número de plantas por metro linear (11,5). Diante destes

resultados, fica evidente que existe uma relação entre o número de plantas e a produtividade para a variedade RB965902.

Não foi observada nenhuma relação entre o IAF e a produtividade aos 360 DAP (Figura 5B), uma vez que este índice é responsável pela interceptação da radiação solar durante todo o período de desenvolvimento da cultura, ou seja, sua influência sobre a produção de biomassa ocorre desde a formação do dossel, e não apenas na colheita.

4.5.7 Análise estatística dos componentes de produção

Os resultados da análise de variância para a produtividade, componentes de produção e teores de água, encontram-se na Tabela 4. Observou-se pelo teste *F*, que houve efeito significativo somente entre variedades para toneladas de cana (TCH) e de açúcar por hectare (TAH), enquanto para a matéria seca (MS) e teor de água na planta (TAP) o efeito significativo foi para todas as variáveis relacionadas às causas de variação. Contudo, o ATR e o teor de água na folha (TAF) não apresentaram efeito significativo.

Tabela 4 - Resultados da análise de variância (valores de *F*) para os componentes de produção, teor de água na folha (TAF) e na planta (TAP) de variedades de cana-de-açúcar submetidas a lâminas de irrigação.

Causas de variação	GL	TCH	TAH	ATR	MS	TAF	TAP
Variedades (V)	1	15,01*	5,44*	$0,88^{ns}$	217,04*	$0,29^{ns}$	51,78*
Lâminas (L)	6	$1,49^{ns}$	$1,71^{ns}$	$1,35^{ns}$	3,38*	$1,81^{ns}$	10,04*
V x L	6	$0,92^{ns}$	$0,39^{ns}$	$0,56^{ns}$	6,53*	$1,00^{ns}$	3,55*
Blocos	3	$0,82^{ns}$	$2,38^{ns}$	9,72*	7,41*	$0,83^{ns}$	$0,71^{ns}$
Resíduo	39						
Total	55						
CV (%)		8,07	11,12	6,13	9,34	4,36	1,29
RB965902		162,73b	21,56b	131,63a	61,08b	64,97a	73,33a
RB855453		176,92a	23,11a	129,62a	88,60a	64,56a	71,53b
Média Geral		169,82	22,33	130,62	74,85	64,77	72,43

*Significativo e não significativo (ns) a 0,05 de probabilidade pelo teste *F*. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não difere entre si, pelo teste de Skott-Knott. TCH = tonelada de cana por hectare, TAH = tonelada de açúcar por hectare, ATR = açúcar total recuperável (kg t^{-1}) e MS = matéria seca (t ha^{-1}).

A Tabela 4 mostra que a variedade RB855453 apresentou produtividade média superior a RB965902. Para os tratamentos irrigados e de sequeiro, respectivamente, foram obtidos rendimentos na ordem de 178,93 e 164,81 t ha^{-1} para a variedade RB855453 e 164,08 e 154,61 t ha^{-1} para a RB965902. Verifica-se que sob a mesma condição de cultivo, a variedade RB855453 apresentou um incremento médio de 14,19 t ha^{-1}, expressando uma

possível maior eficiência no uso da água. Está tendência também foi observada na Figura 5, em que o tratamento de 75% proporcionou a maior produtividade.

A produtividade média das testemunhas (média das duas variedades) foi de 159,71 t ha^{-1}, bem superior a média brasileira (67 t ha^{-1}), ao Estado de São Paulo (69,9 t ha^{-1}) e do Nordeste (56,7 t ha^{-1}) na safra 2011/2012 (CONAB, 2012). Os resultados observados no presente trabalho evidenciam que a irrigação pode proporcionar ganhos satisfatórios no cultivo de cana-de-açúcar na região noroeste do Estado de São Paulo.

Resultados experimentais desenvolvidos pela RIDESA em várias regiões do Brasil revelaram que a variedade RB965902 produziu 128,50 t ha^{-1} em ciclo de cana-planta, 119,70 t ha^{-1} em primeira soca e 113,50 t ha^{-1} em segunda soca, enquanto a variedade RB855453 produziu 128,30 t ha^{-1} no ciclo de cana-planta, 115,10 t ha^{-1} em primeira soca e 114,90 t ha^{-1} em segunda soca (DAROS et al., 2010).

Na Usina São Martinho (SP) em um experimento com cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subterrâneo foi obtido produtividade média de 155 t ha^{-1} em oito ciclos de cultivo. De acordo Aguiar (2006) rendimentos entre 140 a 160 t ha^{-1} são comuns em até 10 ou 12 cortes utilizando irrigação por gotejamento. O aumento na produtividade pode reduzir o custo com a implantação do canavial, haja vista a necessidade de menor área plantada para a mesma produção, menor tempo de uso de implementos, de mão-de-obra, de insumos etc (AGUIAR, 2006).

Em alguns trabalhos com gotejamento em cana-de-açúcar em várias regiões do país foram obtidos resultados semelhantes e superiores ao dessa pesquisa. Na região de Botucatu (SP), Dalri et al. (2008) verificaram produtividade de 300,46 t ha^{-1} com irrigação, e 202,23 t ha^{-1} em sequeiro. Firme (2007) também obteve respectivamente produtividade de 227,77 t ha^{-1} em cultivo irrigado e 152,84 t ha^{-1} sem irrigação. Por outro lado, na região de Jaú (SP) Silva et al. (2008) observaram rendimentos de 78,18 t ha^{-1} para a variedade IAC86-2480 e 90,30 t ha^{-1} para a RB72454 em sequeiro.

Na região Nordeste, Teodoro (2011) trabalhando com gotejamento obteve produtividade média de 167,47 t ha^{-1} em cultivo irrigado e 118,94 t ha^{-1} em sequeiro no ciclo de cana-planta, para o segundo ciclo os rendimentos foram reduzidos em 20,30 % no irrigado e 5,51% em sequeiro. Por outro lado, a irrigação por pivô central não tem proporcionado incrementos consideráveis; Dantas Neto et al. (2006) na região de Capim (PB) verificou rendimentos na ordem 79 t ha^{-1} com irrigação e 74 t ha^{-1} em sequeiro.

Em outras regiões do mundo, como na Índia, Ramesh e Mahadevaswamy (2000) verificaram efeito significativo no rendimento agrícola quando a cultura foi submetida a diferentes condições de umidade de solo, com valores de 71,9 t ha^{-1} para a testemunha, 88 t ha^{-1} para o estresse moderado e 117 t ha^{-1} no tratamento controle.

Quanto à produtividade de açúcar (TAH), observou-se que houve efeito significativo apenas entre variedades, uma vez que a RB855453 foi superior a RB965902 (Tabela 4). Considerando que a TAH é influenciado pela produtividade agrícola e concentração de sacarose na cana, ressalta-se que estas duas variáveis se expressaram melhor na variedade RB855453.

Os valores médios observados foram de 23,11 t ha^{-1} para a variedade RB855453 e 21,56 t ha^{-1} para a RB965902 (Tabela 4). A diferença observada foi de aproximadamente 2,0 t ha^{-1}, o que pode ser considerado significativo na escolha do material a ser plantado. Para os tratamentos irrigados, ambas as variedades produziram em média 22,65 t ha^{-1} e em sequeiro 20,46 t ha^{-1}.

O rendimento de açúcar obtido no presente trabalho foi superior aos resultados médios verificados por Daros et al. (2010) em três ciclos de cultivo e com o mesmo material genético, que foram de 16,14 t ha^{-1} para a variedade RB965902 e 16,29 t ha^{-1} para a RB855453 em diversas regiões do Brasil. Em cultivo de sequeiro, Silva et al. (2008) observaram efeito significativo entre variedades com 12,28 t ha^{-1} para a variedade IAC86-2480 e 14,42 t ha^{-1} para a RB72454. Dantas Neto et al. (2006) observaram um rendimento de açúcar de 11,17 t ha^{-1} em cultivo irrigado e 9,67 t ha^{-1} sem irrigação.

Dos componentes analisados, o açúcar total recuperável (ATR) é o mais importante, tanto para indústria quanto para os produtores, pois em função dele, as unidades industriais elaboram a tabela de preços paga aos produtores em algumas regiões do país, seguindo uma metodologia descrita pelo Consecana (2003). Verifica-se na Tabela 4, que não houve efeito significativo para o ATR.

Os valores médios de ATR observados foram de 129,62 kg t^{-1} para a variedade RB855453 e 131,63 kg t^{-1} para a RB965902. Esses resultados estão abaixo dos valores médios relatados pela Conab (2012), para diversas variedades de cana-de-açúcar no Brasil, que foram de 135,94 kg t^{-1} na safra 2011/2012, bem como os resultados de vários trabalhos. Dalri et al. (2008) verificaram efeito significativo entre os tratamentos com resultados de 152,68 kg t^{-1} em cana sob irrigação plena e 148,79 kg t^{-1} em sequeiro. Paula (2008) verificou a existência de significância para os tratamentos irrigados aplicados a

variedade SP80-3280 na região de Piracicaba (SP), com valores médios de 140,13 kg t^{-1} em cana-planta e 135,59 em primeira soca. Por outro lado, Silva et al. (2008) verificaram rendimentos na ordem de 153,92 e 154,84 kg t^{-1} para as variedades IAC86-2480 e RB72454, respectivamente.

Não ocorreu efeito significativo em nenhuma das variáveis encontradas nas causas de variação para o TAF (Tabela 4), evidenciando que o aumento do teor de água no solo não influenciou no teor de água na folha nas duas variedades estudadas. Os valores médios encontrados foram de aproximadamente 65%.

O fato de não ter ocorrido efeito significativo entre as lâminas de irrigação para a maioria das variáveis analisadas, possivelmente se deu em função das altas precipitações ocorridas ao longo do experimento, totalizando 1.453,75 mm (Tabela 1), fazendo com que em algumas fases da cultura os tratamentos tenham recebido a mesma condição hídrica proveniente da precipitação pluviométrica, que foi superior à média dos últimos 22 anos.

O desdobramento entre (variedades x lâminas de irrigação) para matéria seca (MS) e o teor de água na planta (TAP), após interação significativa pelo teste *F* para as causas de variação (Tabela 4), é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado do desdobramento da interação entre as variedades e níveis de irrigação para o teor de matéria seca (MS) e de água na planta (TAP).

Lâminas de irrigação	MS (t ha^{-1})		TAP (%)	
	RB965902	RB855453	RB965902	RB855453
L_0	57,65Bb	84,65Ca	75,31Aa	71,29Cb
L_1	53,19Bb	94,59Ba	74,98Aa	73,43Ab
L_2	62,85Ab	81,42Ca	72,67Ba	70,74Cb
L_3	57,85Bb	85,97Ca	73,42Ba	71,96Bb
L_4	68,65Aa	75,83Ca	72,46Ba	72,08Ba
L_5	60,36Bb	104,26Aa	72,88Ba	70,19Cb
L_6	67,04Ab	93,53Ba	71,58Ba	70,99Ca
Média	61,08	88,61	73,33	71,52

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knott, a 0,05 de probabilidade.

Com relação ao acúmulo de MS observado na variedade RB965902 os tratamentos dividiram-se em dois grupos: os maiores resultados foram observados nos tratamentos que receberam irrigação equivalente a 50%, 100% e 150% da ETc, com valor médio de 66,18 t ha^{-1}. Nos demais tratamentos, o valor médio observado foi de 57,13 t ha^{-1}. Para a testemunha, a produção de MS foi de 57,65 t ha^{-1}, não diferindo do grupo que apresentou os menores valores (Tabela 5).

Para a variedade RB855453, o maior acúmulo de matéria seca (104,26 t ha^{-1}) ocorreu quando a cultura foi submetida a uma condição hídrica de 125% da ETc, seguido dos tratamentos intermediários que foram de 94,59 e 93,53 t ha^{-1} para os tratamentos equivalentes a 25% e 150%, respectivamente, e para os demais tratamentos o rendimento médio foi de 81,07 t ha^{-1}, semelhantes à testemunha que produziu 84,65 t ha^{-1}.

Comparando as duas variedades dentro de cada lâmina de irrigação, observou-se que houve semelhança apenas no tratamento equivalente a 100%. Nos demais, a variedade RB855453 foi superior a RB965902. Estes resultados indicam que a variedade RB855453 apresentou uma melhor eficiência no uso da água para produção de matéria seca, com um incremento médio de 31,06% sobre a variedade RB965902.

Este acúmulo da MS observado na variedade RB855453 ocorreu devido à combinação entre o IAF e o número de plantas por metro linear (Figuras 5B e 5D) que foram superior a variedade RB965902, em todos os tratamentos. Os resultados obtidos no presente trabalho corroboram com aqueles encontrados por Dalri et al. (2008) que foram de 88,62 t ha^{-1} em cultivo irrigado e 59,26 t ha^{-1} em sequeiro.

Em cultivo de sequeiro, Oliveira et al. (2004) também verificaram efeito significativo entre variedades de cana-de-açúcar para o acúmulo de MS. Os resultados mostram que os autores encontraram uma produtividade de 63; 51 e 48 t ha^{-1} para as variedades RB72454, RB855113 e RB855536, respectivamente.

Quanto ao teor de água na planta, os maiores valores foram verificados na testemunha (75,31%) e no tratamento equivalente a 25% da ETc (74,98%). Para os demais tratamentos não houve efeito significativo com o aumento da condição hídrica do solo na variedade RB965902 que apresentou valores médios de 72,53 t ha^{-1} (Tabela 5).

A variedade RB855453 apresentou o maior teor de água quando submetida a uma condição hídrica equivalente a 25% da ETc, que foi de 73,43%, seguido dos tratamentos 75% e 100%, com valores de 71,96% e 72,08% respectivamente, e dos tratamentos 50% (70,74%), 125% (70,19%) e 150% (70,99%) da ETc. Estes não diferiram entre si, que foram semelhantes a testemunha que apresentou um TAP de 71,29% (Tabela 5). A semelhança entre os tratamentos para o TAP possivelmente ocorreu devido à contribuição da precipitação pluvial aos tratamentos que limitava a condição hídrica do solo.

Ao se comparar as duas variedades dentro de uma mesma lâmina de irrigação, observou-se que houve semelhança apenas em dois tratamentos, a 100% e 150% da ETc, nos demais a variedade RB965902 foi superior a RB855453.

4.6 CONCLUSÕES

As variedades RB965902 e RB855453 apresentaram o máximo perfilhamento em épocas diferentes;

A variedade RB855453 apresentou diâmetro de colmo superior na lâmina de 75% e a RB965902 na de 125% da ETc;

O teor de água no colmo foi superior ao da folha;

A variedade RB855453 apresentou o melhor rendimento agrícola médio.

4.7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. L. Cana-de-açúcar: de gota em gota. In: FNP COSULTORIA e COMÉRCIO: Agrianual, 2006**: Anuário da Agricultura Brasileira**, São Paulo, p. 227-248, 2006.

ALMEIDA, A. C. dos S. *et al.* Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotécnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C. Crescimento da parte aérea da cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1069-1079, 1999.

BACHI, O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1978, São Paulo, **Proceedings**..., v. 2, p. 1733-1741.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_15_07_05_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2012.

Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Fernando de Andrade Reis, 2006. 112p.

DANTAS NETO, J. *et al.* 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.

DALRI, A. B. *et al.* Irrigação por gotejamento subsuperficial na produtividade e qualidade de cana-de-açúcar. **Revista Irriga,** Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DAROS, E. *et al.* **Liberação nacional de novas variedades "RB" de cana-de-açúcar**. Rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro. Curitiba, 2010, 64 p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A, H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Tradução de H. R. GHEYI, A. A DE SOUZA, F. A. V. DAMASCENO, J. F. DE MEDEIROS, Campina Grande: Universidade Federal de Paraíba, 1994, p. 220-226. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

FARIAS, C. H. de A. *et al.* Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FIRME, L. P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar.** 2007. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FORMAGGIO, A. R. **Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e feijão.** 1989. 161 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximu* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, p. 675-680, 1999.

GONÇALVES, E. R. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2009.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar**. Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.

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

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

KEATING, B. A. *et al.* Modelling sugarcane production systems I: development and performace of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 27-36, 1999.

KOFFLER, N. E. **A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no Cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. 12 p. (Informações Agronômicas, 33).

LEME, E. J. A.; SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. **Consumo de água da cana-de-açúcar irrigada por sulcos de infiltração.** Piracicaba, n. 18, p. 29-43, 1982.

MACHADO, E. C. *et al.* Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar, aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. Y. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987, p. 113-118.

MARQUES, T. A. *et al.* Parâmetros biométricos e tecnológicos para de cultivares de cana-de-açúcar para o Oeste Paulista. **Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, n. 1, p. 6-10, 2007.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Adubação nitrogenada em cana planta: perfilhamento e produtividade agrícola. STAB. **Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.13, n.3, p.16-18, 1995.

PAULA, A. L. de. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos.** 2008. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: IAC, 1987. 33p. (IAC. Boletim Técnico, 114).

RAIJ, B. *et al.* Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico do Instituto Agronômico,** Campinas, 2. ed. n. 100, 285p. 1997.

RAMESH, P.; MAHADEVASWANY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science,** Berlin**,** v. 185, n. 14, p. 249-258, 2000.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. 1995. Disponível em: <http://www.residenciaagronomica.ufpr.br/bibliografia/MATURAD.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2012.

ROBERTSON, M. J. *et al.* Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. Aust. J. Agric. Res. 50, 65-77, 1999.

SANTOS, V. R. dos. *et al.* Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar, In: **Atualizações em produção de cana-de-açúcar.** SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Piracicaba, 2006, p. 19-36.

SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; DAL'COL LÚCIO, A. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. ESALQ, 2001. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SNIDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. J. of Irrig. and Drain. Eng., p. 977-980, 1992.

TAVARES, A. C. S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ao excesso de água no solo.** 2009. 221 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-deaçúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada.** 2011. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

5 CAPITULO 2: VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, SUBMETIDAS A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO

5.1 RESUMO: O presente trabalho tem o objetivo avaliar a viabilidade econômica do uso da irrigação em cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis. O experimento foi instalado numa área de meio hectare, em um solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de textura média. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com arranjo fatorial (2 x 7), sendo duas variedades (RB965902 e RB855453) e sete lâminas de irrigação (L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc), com quatro repetições. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com vazão de 1,42 L h^{-1} e pressão entre 5 e 15 mca. Foram avaliados os custos de produção da cana-de-açúcar e a sua viabilidade econômica em cada tratamento. A estimativa da produtividade (t ha^{-1}), em função da lâmina total de água aplicada obteve ajuste significativo ($p < 0,05$) ao modelo linear e ao polinomial de segundo grau. A variedade RB855453 apresentou uma produtividade de máxima eficiência econômica estimada em 182,15 t ha^{-1}, quando submetida a uma lâmina de irrigação de 1.024,53 mm. A variedade RB965902 não apresentou viabilidade econômica quando submetida aos tratamentos. A única condição que houve receita líquida positiva foi com a aplicação de 75% da ETc na variedade RB855453.

PALAVRAS-CHAVE: gotejamento, uso da água, viabilidade econômica, *Saccharum spp.*

5.2 ABSTRACT: This study aimed to evaluate the economic viability on irrigation use in sugarcane under different levels in Penápolis. The study was conducted in an experimental area of 0.5 hectare, on a soil classified as Typic Hapludox, medium texture. The experimental design was a randomized block with factorial arrangement (2 x 7) with two varieties (RB965902 and RB855453), seven irrigation levels (L_0 = control, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% and L_6 = 150% of ETc) and four replications. The irrigation system used was the subsurface drip with a flow rate of 1.42 L h^{-1} and an operating pressure ranging from 5 to 25 mca. The sugarcane production cost of sugarcane and its economic viability in each treatment were evaluated. The yield estimate (t ha^{-1}) in function of the total water applied obtained significant adjustment ($p < 0.05$) for linear and for second-degree polynomial models. The variety RB855453 showed a maximum economic productivity of 182.15 t ha^{-1} when submitted to a water depth of 1024.53 mm. The variety RB965902 showed no economic viability when submitted to all treatments. The positive net income was obtained only with the application of 75% of ETc in variety RB855453.

KEY WORDS: drip, water use, economic viablity, *Saccharum spp.*

5.3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), com uma área cultivada de 8,3 milhões de hectares, produzindo 571,4 milhões de toneladas, possibilitando a obtenção de 38,9 milhões de toneladas de açúcar e 23,9 bilhões de litros de etanol; nesse contexto o Estado de São Paulo é responsável por aproximadamente 55% de toda cana processada no pais (CONAB, 2012).

A busca por fontes de energia limpa e renovável, a demanda mundial de açúcar, a participação dos carros bicombustíveis na frota automotiva brasileira e a procura por alternativas para substituir o petróleo desde meados dos anos 1970 são alguns dos fatores que impulsionaram a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil. O segmento sucroenergértico conta também com a cogeração de energia a partir da queima do bagaço e da palhada da cana. Além da produção de plásticos e outros produtos fabricados a partir da cana-de-açúcar.

Dentre os fatores de produção da cana-de-açúcar, a água merece destaque especial, não apenas pelo custo que representa, mas, sobretudo, devido à necessidade de ser utilizada de modo eficiente, permitindo a sustentabilidade hídrica da região, uma vez que as maiores variações no rendimento da cana-de-açúcar ocorrem em resposta às variações no consumo de água pelas plantas.

A deficiência hídrica não é limitada apenas às regiões áridas e semi-áridas do mundo, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a má distribuição das chuvas pode limitar o desenvolvimento e reduzir a produtividade. Apesar do volume de investimentos utilizados na expansão da cultura no Brasil, estes são direcionados ao crescimento em extensão, sem considerar a verticalização da produção, por isso a produtividade ainda é considerada baixa, diante ao potencial genético das novas variedades. Dessa forma, a irrigação quando bem conduzida, surge como alternativa para elevar a produtividade. De acordo com Dantas Neto et al. (2006), o manejo racional da água na cultura da cana-de-açúcar é fundamental para a maximização da produção.

Para viabilizar um sistema de produção em função do aumento em sua rentabilidade, o uso da irrigação nem sempre atinge esse objetivo, devido, muitas vezes, à falta de dados que demonstrem se o acréscimo de produção compensará o custo da implantação e da manutenção dessa tecnologia. Por isso, estudos com enfoque econômico, que levam em conta a resposta da produção da cultura em relação a diferentes lâminas de irrigação, são fundamentais para viabilizar e difundir a exploração da cultura irrigada em uma região (FRIZZONE, 1993).

Nem sempre um sistema que proporciona uma produtividade física máxima representa a condição economicamente viável, havendo a necessidade de se determinar o volume de água que forneça o melhor retorno econômico. Assim sendo, a lâmina de irrigação que resulta na maior receita líquida é de suma importância para uma empresa agrícola.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade econômica da irrigação plena em cana-de-açúcar no primeiro ciclo de cultivo, submetida a diferentes lâminas de irrigação, na região noroeste do Estado de São Paulo.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Sítio São Francisco, situado no município de Penápolis (21º 15' 00" S, 50º 02' 00" W e 415 m de altitude), Estado de São Paulo. A área de cultivo tinha meio hectare, cujo solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura média e relevo suavemente ondulado, cujas características químicas se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental.

Atributos do solo	Camadas (cm)		
	*0 - 20	**0 - 20	**20 - 40
pH	5,0	6,3	5,4
M.O (g dm^{-3})	14	43	24
P_{resina} (mg dm-³)	4,0	12	7,0
H+Al (mmolc dm-³)	25	15	22
K (mmolc dm-³)	2,8	3,4	2,9
Ca (mmolc dm-³)	22	51	36
Mg (mmolc dm-³)	5,0	19	11
SB (mmolc dm-³)	29	73	50
CTC (mmolc dm-³)	55	88	72
V%	54	83	69
S (mg dm-³)	-	8,0	12

*180 antes do plantio, **80 dias após o plantio.

A calagem do solo foi realizada 150 dias antes do plantio, com a aplicação de 350 kg ha^{-1} de calcário dolomítico, visando elevar a 60% o índice de saturação por base (V%) do solo. O preparo do solo foi constituído por três práticas agrícolas: gradagem aradora, subsolagem e gradagem niveladora.

Após a abertura dos sulcos, realizou-se a adubação de acordo com a análise química do solo e antes do plantio (Tabela 1), seguindo a recomendação de Raij et al. (1997), colocando-se 30 kg ha^{-1} de N na forma de uréia, 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo e 120 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial (2 x 7) duas variedades (RB965902 e RB855453) e sete lâminas de irrigação (L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc), e quatro repetições. Cada parcela foi composta por oito linhas de 10 m de comprimento. A área útil foi formada pelas quatro linhas centrais da parcela, desprezando-se o primeiro metro (36 m^2).

O plantio foi realizado no dia 11 de maio de 2010, seguindo o sistema tradicional de plantio irrigado "tipo-abacaxi". O material vegetal foi distribuído no sulco a 25 cm de profundidade considerando a interseção "pé e ponta" para melhorar a brotação, de maneira a se obter entre 12-15 gemas por metro linear, e consumir em torno de 14 t ha^{-1} de cana semente. Depois de colocadas no sulco, o material foi picado com facão e seccionado em toletes de três gemas. Em seguida foi feito a aplicação do inseticida Regent 800 WG, com pulverizador costal com vazão de 200 L ha^{-1} na proporção de 250 g ha^{-1}. Utilizou-se o espaçamento que combina linhas duplas distintas de 0,60 m entre si e 1,40 m entre as duplas, com a linha de gotejamento colocada a dois metros entre si, ou seja, uma mangueira gotejadora foi utilizada em duas linhas de plantio.

Decorridos 90 dias após o plantio (DAP), realizou-se a adubação de cobertura, adotando-se o mesmo procedimento utilizado em fundação. Foi aplicado um total de 600 kg ha^{-1} da fórmula 08 28 16, onde se colocou 30 kg ha^{-1} de N, 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} K_2O.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial com mangueiras que tem emissores inseridos em sua parede espaçados a 50 cm e com vazão de 1,42 L h^{-1} a uma pressão de serviço (PS) variando entre 5 a 25 mca (autocompensantes). As mangueiras foram colocadas a 30 cm de profundidade após a sulcagem do solo.

Os dados meteorológicos de precipitação pluvial (P), de temperatura média (T_m) e de umidade relativa do ar média (UR%), utilizados para estimar a evapotranspiração de referência (ET_O, mm dia^{-1}) e manejar a irrigação, foram obtidos na área experimental, por uma estação meteorológica da marca DAVIS INSTRUMENTS, com medições a cada 15 segundos e armazenamento de médias a cada 10 minutos. A ETo foi estimada diariamente, conforme a Equação 1, pelo método do *"Tanque Classe A"*, cujo coeficiente de correção (K_p) foi estimado segundo de Snyder (1992).

$$ETo = ECA \times K_p \qquad \text{(Equação 1)}$$

em que: K_p = 0,482 + 0,024 X Ln (F) - 0,00037 U (Km dia^{-1}) + 0,0045 UR%, F = Distância da área de bordadura (10 m), U = Velocidade do vento a 2 m de altura (Km dia^{-1}), UR = Umidade relativa do ar média diária (%).

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada de acordo com a ETo local e o coeficiente da cultura (Kc) (Equação 2).

$$ETc = ETo \times Kc \qquad \text{(Equação 2)}$$

Os valores do kc nos diversos estádios de desenvolvimento da planta utilizados foram definidos por Doorenbos e Kassam (1994), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Kc para a cultura da cana-de-açúcar em diversas fases de desenvolvimento, em primeiro ciclo de cultivo.

Idade da cultura (dias)	Meses	Coeficiente da cultura (Kc)
0 - 43	mai/jun	0,40
44 - 66	jun/jul	0,75
67 - 89	jul/ago	0,90
90 - 155	ago/set/out	1,00
156 - 281	out/nov/dez/jan/fev	1,25
282 - 305	fev/mar	1,00
306 - 320	mar	0,70
321 - 360	mar/abr	Sem irrigação

Fonte: Adaptado de Doorembos e Kassam (1994).

A precipitação pluvial foi obtida na área experimental por um pluviômetro manual. A precipitação efetiva foi determinada subtraindo-se o excesso de água no solo pela precipitação pluvial, considerando os valores decendiais obtidos pelo balanço hídrico da cultura, elaborado pelo método de Thornthwaite e Mather (PEREIRA et al., 2002).

A irrigação teve início logo após o plantio, sem considerar os tratamentos propostos no trabalho para facilitar a brotação dos toletes e a formação dos perfilhos. Para isso, foi aplicada uma lâmina de irrigação equivalente à capacidade de água disponível do solo (CAD), considerando uma camada de 60 cm de profundidade, onde se encontram aproximadamente 85% do sistema radicular da cultura (KOFFLER, 1986). Para determinação da CAD do solo foram abertas trincheiras, retirando-se amostras indeformadas nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em quatro locais distintos na área experimental. As amostras foram levadas ao laboratório da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" para a determinação das características físicas nos teores de água correspondentes a capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente (0,006 e 1,5 MPa), respectivamente.

Aos 60 DAP, iniciaram-se os tratamentos, adotando-se um turno de rega fixo de dois dias com os níveis de irrigação estabelecidos, suspendendo-se a irrigação quando a ETc era inferior a precipitação pluvial do período.

A determinação do custo de produção foi baseada na estrutura do custo operacional utilizada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), proposta por Matsunaga et al. (1976) apud Kaneko et al. (2009), com algumas adaptações (Tabela 3).

Tabela 3 - Estimativa anual do custo de implantação e manutenção de um hectare de cana-de-açúcar cultivada em sequeiro e irrigada.

Operações agrícolas	**Valores (R$)**
Dessecação da área	58,20
Preparo do solo e plantio	1.484,50
Insumos de plantio	2.756,48
Tratos culturais	78,51
Administração*	277,50
Remuneração da terra**	1.041,66
Subtotal	**5.696,85**
Irrigação	8.006,00
Total geral	**13.702,85**

*Para um rendimento de 150 t ha^{-1} a um custo de R$ 1,85 t^{-1} (PECEGE, ESALQ-USP).
**A remuneração foi de 50 toneladas por alqueire.

Os custos de produção foram obtidos por uma pesquisa de mercado baseada no valor médio de três orçamentos solicitados a empresas especializadas em cada atividade agrícola, descrita a seguir: a) Operações mecanizadas: número de horas-máquina e diárias de trator para a distribuição das mudas no plantio; b) Operações manuais: número de homens/dia; c) Insumos consumidos: adubos, herbicidas, inseticidas, mudas de plantio etc); d) Aluguel da terra: valor médio pago pelo uso da terra em caso de arrendamento; e) Administração do empreendimento: valor pago referente aos custos com mão-de-obra administrativa, assistências técnica, contábil e jurídica, telefone, impostos etc.

Para determinação da análise econômica foi considerado o custo do mm de água aplicado por hectare (R$ mm^{-1}) e o preço da tonelada de cana-de-açúcar no campo (R$ t^{-1}). O preço do milímetro foi obtido dividindo-se o valor do custo com a aquisição do projeto de irrigação amortizado, energia elétrica, água, mão-de-obra e manutenção, para o tratamento que consumiu o maior volume de água. O custo do m^3 de água foi obtido pela Agência Nacional das Águas (ANA), considerando os valores pagos pelos irrigantes das bacias dos rios Piracicaba, Paraíba do sul, Rio Capivari/Jundiaí, ambos no Estado de São Paulo. O preço do kWh foi obtido junto a CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz)

considerando o valor cobrado ao produtor rural. Os custos com mão-de-obra e manutenção foram obtidos por empresas que monitoram projetos de irrigação na região Sudeste do Brasil.

Para os cálculos dos custos com energia elétrica no projeto de irrigação foi considerado uma potência instalada de 1,5 CV ha^{-1} e um consumo de 736 Watts CV^{-1} h^{-1}. O método de depreciação utilizado para o sistema de irrigação foi o linear ou o das cotas fixas (AGUIAR, 2005), em que a taxa anual de depreciação é calculada conforme a Equação 3, considerando que a vida útil do sistema ocorra até a reforma do canavial. O valor residual do projeto de irrigação foi obtido conforme a metodologia da Conab (2010).

$$D = \left[\frac{(I_i - R)}{n} \right] \tag{3}$$

em que: D = Depreciação anual, I_i = Investimento inicial, R = Valor residual (20%), n = Vida útil do sistema de irrigação (12 anos).

As receitas brutas e líquidas devido à irrigação, em cada tratamento, foram calculadas em função do aumento na produtividade agrícola, em relação à testemunha, conforme as Equações 4, 5, 6 e a Tabela 4:

$$RB = Y_r \; P_p \tag{4}$$

em que: RB = Receita bruta da cana-de-açúcar (R$ ha^{-1}), Y_r = Aumento do rendimento em função do tratamento (t ha^{-1}), P_P = Preço do produto (R$ t^{-1}).

$$RL = Y_r \; P_p - C_p \tag{5}$$

em que: RL = Receita líquida da cana-de-açúcar (R$ ha^{-1}), Y_r = Aumento do rendimento em função do tratamento (t ha^{-1}), P_P = Preço do produto (R$ t^{-1}), C_p = Custo de produção (R$ ha^{-1}).

O custo de produção anual em cada tratamento foi calculado conforme a Equação 6:

$$C_p = C_i + C_m + C_e + C_a\ W_a \qquad (6)$$

em que: C_p = Custo de produção (R$ ha^{-1}), C_i = Custo de implantação do sistema de irrigação amortizado (R$ ha^{-1}), C_m = Custo com a manutenção e mão-de-obra do sistema de irrigação (R$ ha^{-1}), C_e = Custo com a energia elétrica em cada tratamento (R$ ha^{-1}), C_a = Custo da água (R$ m^3) e W_a = Volume de água aplicada em cada tratamento (m^3).

Tabela 4 - Valores de P_p, C_i, C_m, C_e, C_a e C_{ti} utilizados na determinação da receita líquida da cultura da cana-de-açúcar.

Lâminas de Irrigação	P_p	C_i	C_m	C_a	C_e	W_a	C_{ti}
	R$ t^{-1}	R$ ha^{-1}				mm	R$ ha^{-1}
L_0		-	-	-	-	0,00	-
L_1	50,00	504,44	439,59	16,23	12,47	162,33	972,74
L_2	50,00	504,44	439,59	27,00	20,75	270,07	991,80
L_3	50,00	504,44	439,59	38,68	29,73	386,87	1.012,50
L_4	50,00	504,44	439,59	52,35	40,23	523,59	1.036,63
L_5	50,00	504,44	439,59	66,02	50,74	660,30	1.060,80
L_6	50,00	504,44	439,59	80,13	61,58	801,38	1.085,80

C_{ti} = Custo total da irrigação; Custo com a energia = R$ 0,1775 kWh^{-1}.

A taxa de crescimento da produção foi determinada em valores de toneladas de cana produzida mensalmente. Para isso, a produtividade obtida (t ha^{-1}) foi dividida pelo número de meses decorridos entre o plantio e a colheita.

A eficiência no uso da água (EUA) foi calculada dividindo-se a lâmina de irrigação aplicada mais a precipitação efetiva pela produtividade (TCH), conforme a Equação 7.

$$EUA = \frac{P_{efetiva} + I}{TCH} \qquad (7)$$

em que: $P_{efetiva}$ = Precipitação pluvial efetiva (mm), I = Irrigação (mm), TCH = Toneladas de cana por hectare.

A lâmina de irrigação de máxima eficiência econômica (W_{mec}) foi determinada com base no preço do insumo (milímetro de água aplicado por hectare) e no preço do produto (tonelada de cana-de-açúcar no campo), e calculada conforme a Equação 8. Em seguida foi estimada a produtividade de máxima eficiência econômica, substituindo X da equação pelo resultado obtido em W_{mec}.

$$W_{mec} = \frac{C_w - P_1 b_1}{2P_1 b_2} \quad (8)$$

em que: W_{mec} = Quantidade de insumo (lâmina de irrigação + precipitação efetiva) que proporciona a produtividade de máxima eficiência econômica (mm), C_w = Custo do insumo (R$ mm^{-1}), P_1 = Preço da tonelada da cana-de-açúcar no campo (R$), e b_1 e b_2 são os coeficientes da equação de produção.

A produtividade (TCH) foi determinada nas quatro linhas centrais da parcela, desprezando-se o primeiro metro aos 360 DAP, e em seguida o material foi pesado utilizando um dinamômetro. Os resultados de natureza quantitativa para cada variedade foram analisados separadamente e submetidos à análise de regressão a 5% de probabilidade, e quando verificado efeito significativo para o ajuste das equações com significados biológicos foram selecionados os modelos matemáticos que apresentaram melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação (R^2), utilizando-se o software sisvar.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Precipitação, irrigação e produtividade agrícola

A precipitação pluvial total durante o período experimental foi de 1.453,75 mm e a efetiva apresentou redução com o aumento das lâminas de irrigação; isto se deu porque grande parte das chuvas não foi efetiva, ocasionando excesso hídrico, perdendo-se por escoamento superficial ou percolação. Assim sendo, quando choveu ao término de uma irrigação, a chuva não pôde ser totalmente computada como efetiva para este tratamento; uma vez que parte dela foi efetiva para os tratamentos inferiores. É possível observar que os tratamentos de sequeiro e o L_6 receberam respectivamente uma precipitação efetiva equivalente a 54,92% e 31,75% da total (Tabela 5).

Tabela 5 - Precipitações pluviais total e efetiva ($P_{efetiva}$), lâminas de irrigação (L_I) e produtividade de variedades de cana-de-açúcar em Penápolis (SP).

Lâminas de Irrigação	Precipitação (mm)				Produtividade (t ha^{-1})	
	Total	$P_{efetiva}$	L_I	$P_{efetiva} + L_I$	RB965902	RB855453
L_0	1.453,75	798,47	-	798,47	154,61	164,81
L_1	-	756,71	162,33	919,04	158,31	171,87
L_2	-	715,42	270,07	985,49	159,15	175,27
L_3	-	658,04	386,87	1.044,91	161,22	189,26
L_4	-	542,82	523,59	1.066,41	163,74	184,63
L_5	-	502,91	660,30	1.163,21	168,35	180,76
L_6	-	461,61	801,38	1.262,99	173,73	171,82

A precipitação efetiva diminuiu com o aumento das lâminas de irrigação, sendo que esta mesma tendência foi observada por Teodoro (2011), na região de Rio Largo (AL), em que a precipitação efetiva foi de 48,43% para a testemunha (sem irrigação) e de 36,31% para o tratamento que recebeu o equivalente a 150% da ETo, em ciclo de cana-planta. No segundo ciclo de cultivo, o autor verificou que houve uma melhor distribuição das chuvas no período experimental, com uma precipitação efetiva equivalente a 59,05% da total para a testemunha e 40,84% para o tratamento que recebeu 150% da ETo.

Avaliando a EUA em cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação, no município de Capim (PB), Farias et al. (2008a) também verificaram que houve redução da precipitação efetiva com o aumento das frações de irrigação, e estas foram na ordem de 29,08% para a testemunha e 82,32% para o tratamento irrigado.

As lâminas de irrigação aplicadas variaram de 162,33 a 801,38 mm nos tratamentos irrigados respectivamente com 25% (L_1) e 150% (L_6) da ETc, aplicadas conforme a necessidade hídrica da planta, porém as lâminas totais (P + irrigação) para os mesmos tratamentos foram de 798,47 mm e 1.262,99 mm, respectivamente (Tabela 5). É possível observar que a variedade RB965902 apresentou produtividade variando entre 154,61 t ha^{-1} para a testemunha e 173,73 t ha^{-1} para a lâmina de 150% da ETc, apresentando assim um crescimento linear a medida que se aumentou o volume de água aplicado. Para a variedade RB855453 a produtividade foi de 164,81 t ha^{-1} no tratamento sem irrigação e 189,26 t ha^{-1} com aplicação de 75% da ETc, diminuindo a medida que aumentou o volume aplicado, chegando a 171,82 t ha^{-1} ao se aplicar o equivalente a 150% da ETc (Tabela 5).

A produtividade obtida para ambas às variedades em todos os tratamentos, inclusive a testemunha (Tabela 5) foi superior aos resultados verificados no Brasil (68,29 t ha^{-1}) e no Estado de São Paulo na safra 2011/2012 (70,49 t ha^{-1}) (CONAB, 2012). Dalri et al. (2008)

também verificaram que a testemunha produziu 202,23 t ha^{-1}, considerada superior aos rendimentos médios obtidos em todas as regiões do Brasil.

5.5.2 Incremento na produtividade e receitas

A Tabela 6 apresenta o incremento na produtividade e as receitas brutas e líquidas para ambas as variedades. Verifica-se que a receita liquida obtida para a variedade RB965902 apresentou valores negativos em todos os tratamentos, assim sendo, fica evidente que os custos de produção com o uso da irrigação para esta variedade é, economicamente, inviável para os tratamentos propostos no primeiro ciclo de cultivo e com a aplicação de até 150% da ETc.

Tabela 6 - Incremento de produtividade, receitas bruta e liquida de variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, na região de Penápolis (SP).

Lâminas de	Incremento (t ha^{-1})		Receita bruta (R$ ha^{-1})		Receita Liquida (R$ ha^{-1})	
Irrigação	RB965902	RB855453	RB965902	RB855453	RB965902	RB855453
L_0	-	-	-	-	-	-
L_1	3,70	7,06	185,00	352,79	-787,65	-619,95
L_2	4,54	10,46	227,00	522,77	-764,77	-469,03
L_3	6,61	24,45	330,50	1.222,68	-682,05	**210,23**
L_4	9,13	19,82	456,50	991,10	-580,07	-45,53
L_5	13,74	15,95	687,00	797,40	-373,86	-263,40
L_6	19,12	7,01	956,00	350,52	-129,55	-735,23

O incremento de 19,12 t ha^{-1} resultante da aplicação de uma lâmina de irrigação equivalente a 150% da ETc não apresentou viabilidade econômica à variedade RB965902 (Tabela 6).

A variedade RB855453 apresentou uma receita líquida de R$ 210,23 ha^{-1} com o incremento de 24,45 t ha^{-1}, ao se aplicar uma lâmina de irrigação equivalente a 75% da ETc, sendo a única situação que apresentou resultado positivo. A partir deste tratamento, o aumento da fração de irrigação provocou redução na produtividade e consequentemente aumento nos custos de produção (Tabela 6). Para English et al. (1990) o aumento da receita líquida ocorre quando o volume de água disponível é limitante à produção, e a água economizada com a irrigação que causa déficit hídrico pode ser utilizada no aumento da área irrigada.

Enquanto a variedade RB965902 apresentou um pequeno incremento com o aumento da irrigação até a lâmina máxima, a RB855453 começou a reduzir a produtividade no

momento em que a irrigação foi superior a 75% da ETc. Esse comportamento possivelmente está relacionado com as características genéticas da variedade.

Resultados semelhantes também foram encontrados por vários autores em diversas regiões do Brasil, comparando o tratamento de sequeiro com o irrigado. Teodoro (2011) observou que houve um crescimento na produtividade agrícola até a lâmina máxima (150% da ETo), verificando um aumento de 70,02 t ha^{-1} no ciclo de cana-planta e 28,90 t ha^{-1} em primeira soca. Para Farias et al. (2008b), o incremento na produtividade foi de 56,97 t ha^{-1} com a aplicação de uma lâmina de irrigação de 100% da ETc em cana-planta.

Dantas Neto et al. (2006) observaram incremento de 21,67 t ha^{-1} quando aplicaram uma lâmina de irrigação de 597 mm na região de Capim (PB). Avaliando o efeito da irrigação no aumento da produtividade da cana-de-açúcar, Carvalho et al. (2009) observaram um incremento de 24,37 t ha^{-1} com aplicação de 393 mm.

Na região de Botucatu (SP), Dalri et al. (2008) verificaram que a aplicação de lâminas de irrigação de 1.150, 1.020 e 960 mm respectivamente, proporcionaram incrementos de 32,12%; 36,92% e 28,50% no rendimento da cana-de-açúcar, ao comparar estes tratamentos com a testemunha. Comparando o cultivo de sequeiro com o irrigado, Gava et al. (2011) verificaram um incremento de 25,70 e 35,40 t ha^{-1} respectivamente, ao aplicarem 400 mm em cana-planta e 320 mm em primeira soca, em Jaú (SP). Desta forma, os autores concluíram que houve uma elevação média de 24% na produtividade de colmos. Em Campos dos Goytacazes (RJ) Sousa et al. (1999) verificaram que a irrigação proporcionou um incremento na produtividade de 84,1 t ha^{-1} para a variedade RB72454; 51,90 t ha^{-1} para a RB765418 e 75,40 t ha^{-1} para a SP701011.

O aumento da lâmina de irrigação influenciou na receita líquida obtida pela variedade RB965902, em que se observou uma redução no prejuízo à medida que se eleva o volume de água aplicado via irrigação, evidenciando a utilização de uma lâmina ainda maior, o que não foi verificado pela variedade BR855453. Se houver aumento no preço do produto (cana-de-açúcar), o aumento da fração de irrigação superior a 150% da ETc pode tornasse economicamente viável para a variedade RB965902 (Tabela 5).

A dose de nitrogênio aplicada (30 kg de N ha^{-1}), conforme Raij et. al. (1997), mostrou-se limitante para o desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar com as maiores lâminas de irrigação. Alguns resultados recentes indicam boas produtividades com doses acima de 100 kg de N ha^{-1}, necessitando de uma revisão dos boletins técnicos para o caso de cana-de-açúcar irrigada. Moura et al. (2005) verificou um aumento de 40 t ha^{-1}

quando elevou a dose de nitrogênio de 44 para 236 kg de nitrogênio por hectare em cana planta irrigada.

Teodoro (2011) verificou que as doses de nitrogênio de máxima eficiência econômica foram de 126 kg de nitrogênio ha^{-1} em cana planta e de 100 kg de nitrogênio ha^{-1} em cana soca, no entanto ao aplicar doses de nitrogênio variando entre 0 a 200 kg ha^{-1}, foi observado efeito significativo entre os tratamentos.

5.5.3 Taxa de crescimento mensal da produção

A variedade RB965902 apresentou uma taxa de crescimento médio de 13,56 t $mês^{-1}$ ao longo do ciclo de cultivo, com um mínimo de 12,88 t $mês^{-1}$ para o tratamento de sequeiro e um máximo de 14,47 t $mês^{-1}$ no de 150%. A variedade RB855453 apresentou uma taxa de crescimento de 13,73 t $mês^{-1}$ no sequeiro e 15,77 t $mês^{-1}$ para o tratamento que recebeu 75% da ETc, sendo considerado a máxima taxa de crescimento, em seguida houve redução nesta taxa até a lâmina máxima (150%), que apresentou um crescimento de 14,32 t $mês^{-1}$, e o crescimento médio mensal apresentado por esta variedade foi de 14,74 t $mês^{-1}$ (Figura 1).

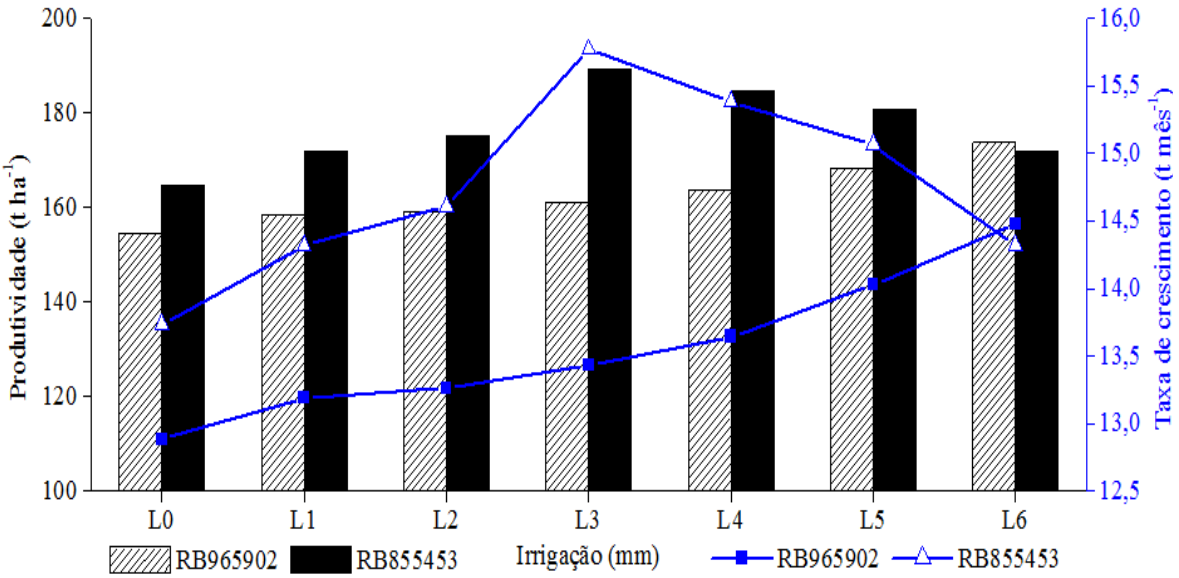

Figura 1 - Taxa de crescimento mensal da produção de variedades de cana-de-açúcar e produtividade agrícola, em função das lâminas de irrigação. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

Para a variedade RB855453, o aumento da fração de irrigação apresentou uma relação crescente com a produtividade até o equivalente a 75% da ETc (Figura 1), no

entanto, as taxas de crescimento foram superiores as observadas na variedade RB965902 até o tratamento equivalente a 125%.

Analisando o tratamento de 150% da ETc, a variedade RB855453 apresentou uma taxa de crescimento equivalente 98,90% da variedade RB965902, e isto ocorreu devido a redução na taxa de crescimento mensal da produção apresentada pela variedade RB855453 a partir do tratamento que recebeu 75% da ETc.

Resultados semelhantes também foram obtidos por diversos autores. Na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, Teodoro (2011) obteve uma taxa de crescimento médio de 12,30 t $mês^{-1}$ em cana-planta e 10, 80 t $mês^{-1}$ em cana-soca. Sousa et al. (1999) verificaram variação nas taxas de crescimento entre variedades, com valores médios de 9,71 t $mês^{-1}$ para a variedade RB72454; 8,40 t $mês^{-1}$ para a RB765418 e 8,93 t $mês^{-1}$ para a SP701011 ao aplicarem lâminas de irrigação variando entre 1.063 a 1.811 mm.

5.5.4 Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação e da precipitação efetiva

O rendimento máximo em um processo produtivo nem sempre representa a condição de máxima eficiência econômica.

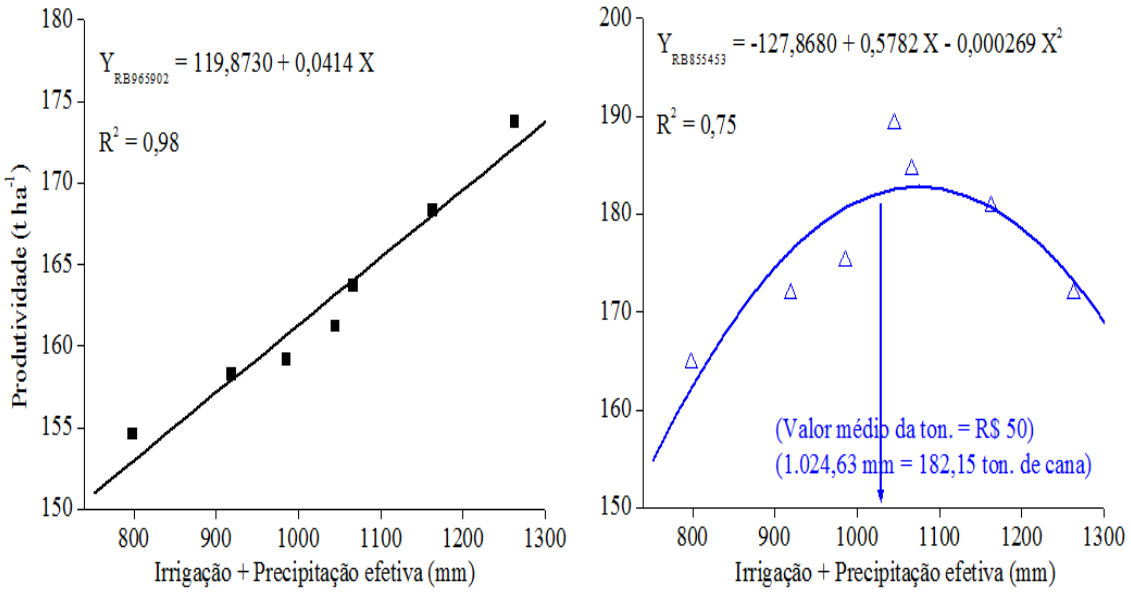

Figura 2 - Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar, em função do consumo hídrico (curva de regressão linear e polinomial). L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

As curvas de regressão, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), indicam boa relação para os modelos linear e polinomial de segunda ordem, propostos na relação entre produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de água (Figura 2).

A variedade RB965902 apresentou significância para a regressão linear com (P = 0,044; F = 4,66* e R^2 = 0,98%), aumentando a produtividade com o incremento do consumo hídrico máximo total que foi de 1.262,99 mm. Desta forma, não foi possível quantificar o volume de água aplicado que proporcionasse o melhor rendimento econômico. Para Almeida et al. (2004) quando não se consegue obter o comportamento de aumento e decréscimo da produtividade com a crescente aplicação de água, é porque a máxima aplicação de água não é suficiente para fornecer condições potenciais de produção e, desta forma, não é possível estabelecer condições ótimas econômicas.

Verifica-se na Figura 2 que apenas a variedade RB855453 apresentou a condição necessária para a determinação do consumo hídrico que proporcionasse a lâmina de máxima eficiência econômica. A regressão polinomial mostra que o aumento do volume de água aplicado elevou a produtividade até atingir um máximo, em seguida, a tendência foi de decréscimo do rendimento com o aumento da lâmina aplicada.

Essa característica apresentada por esta variedade demonstra que o excesso de água pode limitar a produção. O decréscimo da produtividade, em função do excesso de água no solo, pode está ocorrendo devido à baixa aeração na zona radicular e até mesmo lixiviação de nutrientes.

A produtividade agrícola de máxima eficiência econômica para a variedade RB855453 foi obtida por uma equação de regressão polinomial de segundo grau com significância (P = 0,014; F = 7,56* e R^2 = 0,75), para um custo de R$ 1,35 mm^{-1} aplicado e R$ 50,00 t ha^{-1} de cana em campo, resultando em 182,15 t ha^{-1} para uma lâmina total anual de 1.024,53 mm.

Vários trabalhos desenvolvidos em diversas regiões do país mostram que o modelo de regressão polinomial de segunda ordem explica satisfatoriamente a variabilidade dos dados observados de produtividade em função do consumo hídrico, no entanto, a lâmina de máxima eficiência econômica é que pode variar conforme o custo do milímetro aplicado e o preço do produto no mercado. Assim sendo, vários autores observaram efeito significativo com elevados coeficientes de determinação (R^2) de 73% (Lyra et al., 2008), 72% (Coelho et al., 2002), 92% (Almeida et al., 2004) para a cultura do mamão e Sousa et

al. (1999) observaram R^2 de 88,50% para a variedade RB72454; 77,50% para a SP791011 e 62,50% para a RB765418 em cana-planta.

Teodoro (2011) verificou que a lâmina de máxima eficiência econômica seria de 610 mm em cana-planta e 213 mm em cana-soca e estas proporcionariam rendimentos de 176 e 126 t ha^{-1}, respectivamente.

Os resultados obtidos no presente trabalho confrontam com a tradição paulista do cultivo exclusivo de cana de sequeiro, mostrando a necessidade de novas pesquisas sobre a viabilidade econômica da irrigação (plena ou suplementar) na lavoura canavieira, que podem proporcionar resultados bastante significativos para o setor sucroenegético do Estado de São Paulo. Desta forma, o presente trabalho mostrou que a variedade RB855453 pode ser promissora para o cultivo irrigado, desde que não haja outras limitações.

Comparando o comportamento das duas variedades de cana-de-açúcar em campo, foi possível observar que a variedade RB965902 apresentou uma porcentagem média de tombamento equivalente a 78,57% das parcelas aos 240 DAP, chegando a 92,86% na colheita. Para a variedade RB855453 o tombamento verificado nas mesmas épocas foram respectivamente, 21,43% e 7,14%.

Essa característica apresentada pela variedade RB965902 pode ser uma das condições que levou a obtenção de menor rendimento no presente trabalho. De acordo com alguns pesquisadores, no Brasil, existem problemas decorrentes do tombamento em cana-de-açúcar, entretanto o assunto ainda é pouco discutido (Carlin et al., 2005), tendo como consequência algumas características varietais ou ambientais, tais como; baixo teor de fibra, deficiência nos colmos e raízes, excesso de água no solo, excesso de peso dos colmos e fortes ventos.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 2, é possível observar que a variedade RB855453 apresentou uma maior eficiência na absorção e transformação da água em massa de colmos. Enquanto a variedade RB965902 apresentou uma produtividade de 173,73 t ha^{-1} quando submetida a uma lâmina de água de 1.262,99 mm, a RB855453 com apenas 1.044,91 mm foi superior em 8,20%, começando a reduzir sua produtividade nos tratamentos superiores.

A redução no rendimento em cultivos agrícolas com o aumento do teor de água no solo pode ser explicada pela Lei de Liebig (1840) ou lei do mínimo, pois quando a condição hídrica de um solo deixa de ser limitante para o desenvolvimento das plantas,

outros fatores de produção, como; nutrientes, temperatura do ar, luz, oxigênio no solo etc, começam a limitar a produtividade.

5.5.5 Eficiência no uso da água

Os resultados relacionados ao consumo hídrico por toneladas de cana produzida (mm t^{-1}) encontram-se na Figura 3. Nesta é possível observar que a variedade RB965902 apresentou uma EUA que variou de 5,16 mm t^{-1} (19,36 kg m^{-3}), no tratamento de sequeiro, a 7,25 mm t^{-1} (13,75 kg m^{-3}) no tratamento que recebeu irrigação equivalente a 150% da ETc; em média o consumo observado foi de 6,33 mm t^{-1}, aproximando-se do tratamento equivalente a 75% da ETc, que foi de 6,48 mm t^{-1} ou 15,43 kg m^{-3}.

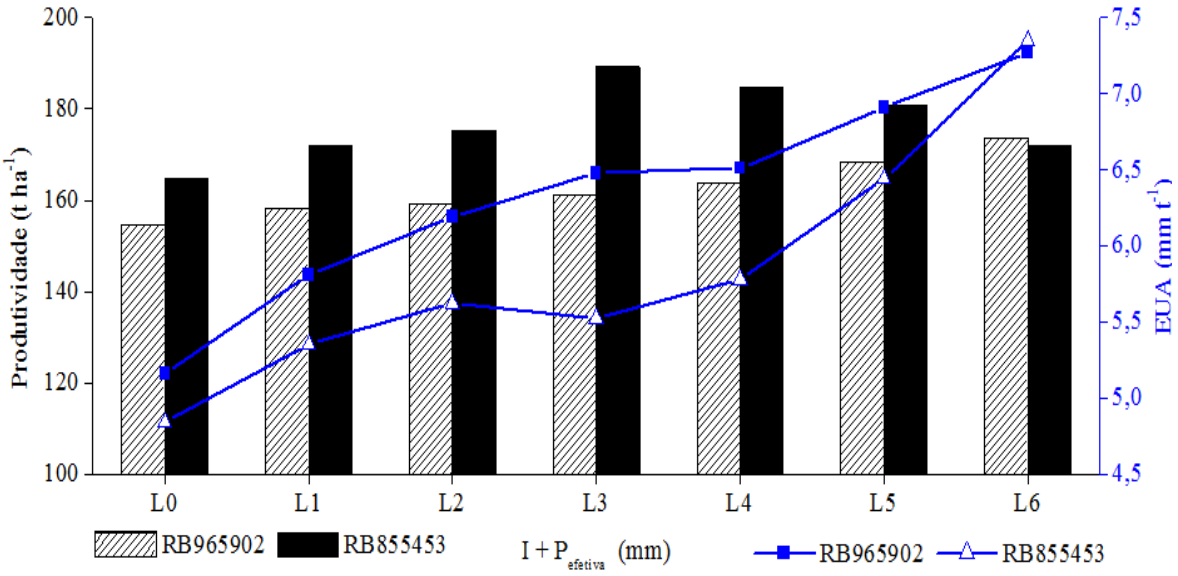

Figura 3 - Eficiência do uso da água (EUA), de variedades de cana-de-açúcar, em milímetros de água consumida por tonelada de cana produzida (mm t^{-1}), e produtividade agrícola (t ha^{-1}), em função das lâminas de irrigação (I) e da precipitação pluvial efetiva ($P_{efetiva}$).

Para a variedade RB855453 a EUA foi de 4,84 mm t^{-1} (20,64 kg m^{-3}) no tratamento de sequeiro e 7,35 mm t^{-1} (13,60 kg m^{-3}) no tratamento que recebeu 150% da ETc, com média de 5,84 mm t^{-1} (17,38 kg m^{-3}) que ficou próximo dos 5,78 mm t^{-1} (17,31 kg m^{-3}) consumidos no tratamento irrigado com 100% da ETc.

Verifica-se na Figura 3, que a variedade RB855453 apresentou uma melhor EUA até a lâmina de 125% da ETc, que foi de 660,30 mm, sendo inferior apenas na de 150%, isso

ocorreu porque a produtividade agrícola da variedade RB855453 começa a reduzir quando o consumo hídrico é superior a 75%.

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, verifica-se que a EUA tende a diminuir à medida que se eleva o volume de água aplicado por irrigação. Resultados semelhantes também foram verificados por outros pesquisadores em várias regiões do mundo. Na Índia Singh et al. (2007) verificaram que um suprimento hídrico equivalente a 25% da evaporação do "*tanque classe A*" (775 mm de água) produziu 78 kg ha^{-1} mm^{-1} (12,92 mm t^{-1}) e quando elevou-se para 1.261 mm (125% da evaporação do "*tanque classe A*"), a EUA reduziu para 59 kg ha^{-1} mm^{-1}, o equivalente a 17,04 mm t^{-1}.

Gava et al. (2011) verificaram efeito significativo entre os tratamentos, com valores de 15,60 mm t^{-1} para o cultivo de sequeiro e 13,10 mm t^{-1} para o tratamento irrigado, na região de Jaú (SP). Os resultados indicam que a variedade SP80-3280 possivelmente seja mais sensível ao estresse hídrico quando comparada aquelas que não apresentaram efeito significativo entre os tratamentos. Para Smith e Singels (2006) a diferença na EUA em relação ao rendimento agrícola, se deve à capacidade que cada variedade possui em tolerar o déficit hídrico e se regenerar quando este for suprido.

5.6 CONCLUSÕES

Para a região de Penápolis (SP), em primeiro ciclo de cultivo, os resultados permitem concluir-se que:

A lâmina total máxima (1.262,99 mm) não proporcionou a maior receita líquida;

A produtividade obtida com a variedade RB855453 foi afetada com o aumento da aplicação da água, ajustando-se ao modelo polinomial de segundo grau;

Para a variedade RB85545, a lâmina de máxima eficiência econômica foi de 1.024,53 mm e gerou uma produtividade de 182,15 t ha^{-1};

5.7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. T. de. et al. Análise econômica baseada em funções de resposta da produtividade versus lâminas de água para o mamoeiro no norte fluminense. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 675-683, 2004.

AGUIAR, J. V. de. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2005. 196 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Acesso em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/BaciaPBS_Inicial.aspx>; em: 22 dez. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Custos de produção agrícola: **A metodologia da Conab,** Brasília, DF, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acesso em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_15_07_05_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2012.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Acesso em: <http://www.cpfl.com.br/Informaccedilotildees/TaxaseTarifas/tabid/206/Default.aspx>; em: 10 nov. 2011.

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A. e.; ROSSETTO, R. Interferência do tombamento na qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar e Álcool**, Piracicaba, v. 24, n. 2, p. 36-40, 2005.

CARVALHO, C. M. de. et al. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 1, p. 72-77, 2009.

COELHO, E. F. et al. Produção do mamoeiro cultivar Tainung nº 1 sob diferentes regimes de irrigação nos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano, In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 17, 2002, Belém, **Anais...** 2002b. CD-Rom.

DANTAS NETO, J. et al. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DALRI, A. B. et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produtividade e qualidade de cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A, H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Tradução de H. R. Gheyi, A. A de Souza, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros, Campina Grande: Universidade Federal de Paraíba, 1994, P. 220-226. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

ENGLISH, M. J.; MUSICK, J. T.; MURTY, V. V. N. Déficit irrigation. In.: Glen, J. H.; Howel, T. A.; Salomon, K. H. (ed.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE Monograph, 1990. p. 631-663.

FARIAS C. H. de A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008a.

FARIAS, C. H. A. et al. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008b.

FRIZZONE, J. A. Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 43 p. (Série Didática, 6).

GAVA, G. J. de C. et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

KANEKO, F. H. et al. Análise econômica da produção de cana-de-açúcar considerando-se a terceirização das operações agrícolas: O caso de um produtor. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 266-270, 2009.

KOFFLER, N. E. **A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no Cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. 12 p. (Informações Agronômicas, 33).

LYRA, G. B. et al. Estimativa dos níveis ótimos e econômicos de irrigação no mamoeiro (*carica papaya L.*) cultivar golden nas condições do norte do espírito santo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 390-395, 2008.

Moura, M. V. P. da S. et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotécnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool no Brasil:** Fechamento da safra 2010/2011. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2011. 141 p. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, CNA.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia (Fundamentos e aplicações práticas). Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba, 2002, 478 p.

RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico,** Campinas, 2 ed., n. 100, 285 p. 1997.

SINGH, P. N.; SHUKLA, S. K.; BHATNAGAR, V. K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp*. Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 90, p. 95 - 100. 2007.

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

SNIDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. J. of Irrig. and Drain. Eng., 118:977-980, 1992.

SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1,1999.

TEDORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada.** 2011. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há necessidade da continuidade da pesquisa nos ciclos subsequentes para que haja confirmação dos resultados obtidos e, o monitoramento de possíveis alterações negativas que possam ocorrer no sistema solo-planta, e assim assegurar a redução mínima da produtividade ao longo dos ciclos de cultivos, visando ótima viabilidade econômica;

Com base nos resultados obtidos e nas experiências vivenciadas na condução deste trabalho e com o propósito de contribuir para o desenvolvimento de futuros estudos, sugere-se que novas pesquisas estudem as interações da irrigação com: variedades de cana-de-açúcar, tipo de solo, níveis de adubação, espaçamento de plantio e longevidade do canavial, assim sendo, será possível efetuar um planejamento da irrigação e fazer uma análise econômica ao longo dos ciclos produtivos;

Existe potencial de viabilidade econômica para irrigação em cana-de-açúcar na região noroeste do Estado de São Paulo e esta tecnologia proporciona benefícios diretos com aumento da produtividade, aplicação de fertilizantes e independência do clima e indiretos com o aumento da longevidade do canavial, necessidade de arrendamentos de novas áreas e redução nos tratos culturais nestas.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. V. de. A função de produção na agricultura irrigada. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2005. 196 p.

AGUIAR, F. L. Cana-de-açúcar: de gota em gota. In: FNP COSULTORIA & COMÉRCIO: Agrianual, 2006**: Anuário da Agricultura Brasileira**, São Paulo, 2006, p. 227-248.

AGUIAR, J. V. **Determinação da função de produção e do consumo de água do caupi no municipio de Bragança**, **Pará**. 1999. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

ALMEIDA, A. C. dos S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotécnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ALVAREZ, A. A.; CASTRO, P. R. C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1069-1079, 1999.

BARBIERI, V.; BACCHI, O. O. S.; VILLA NOVA, N. A. Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharium sp.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1979, Mossoró, RN. **Anais...** Mossoró, RN, 1979.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatologia e a cana-de-açúcar. In: PLANALSUCAR. Coordenadoria Regional Sul. Araras, 1977 p. 1-22.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Universitária, 2008. 625 p.

BRUNINI, O. Zoneamento agrícola da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil e estimativa da produtividade. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R. P. **Tópicos em ecofisiológia da cana-de-açúcar.** Botucatu: FEPAF, 2010, p. 27-33.

BEZUIDENHOUT, C. N. et al. A process based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems**, Durban, v. 76, n. 2, p. 589-599, 2003.

BONNETT, G. D. Rate of leaf appearance in sugarcane, including a comparison of a range of varieties. **Journal Plant Physiology,** Austrália, n. 25, p. 829-839, 1998.

CANASAT. **Monitoramento da cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>. Acesso em 22 abr. 2012.

CALDWELL, D. S., SPURGEON, W. E., MANGES, H. L. Frequency of irrigation subsurface drip-irrigated corn. **Transactions of the ASAE**, Manhattan, v. 37, n. 4, p. 1099-103, 1994.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993, p. 31-64.

CAPUTO, M. M. et al. Respostas de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 15-23, 2008.

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. 9 p.

CASTRO, P. R. C. Fotossíntese na cana-de-açúcar. **Revista STAB** - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 20, n. 3, p. 26-27, 2002.

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

COELHO, E. F.; OR, D.; SOUSA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 651-657, 1999.

COCK, J. H. Sugarcane growth and development. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba, STAB, 2001, p. 1-14.

COLAIZZI, P. D. et al**. Comparison of SDI, LEPA, and spray efficiency for grain sorghum**. Paper Number: 032139. 2003. ASAE Annual International Meeting, Sponsored by American Society of Agricultural Engineers, Riviera Hotel and Convention Center, Las Vegas, Nevada, USA, 27-30 Jul. 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_15_07_05_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2012.

CHRISTOFFOLETI, P. J. **Aspectos fisiológicos da brotação, perfilhamento e florescimento da cana-de-açúcar**. Piracicaba, ESALQ, 1986, 80 p.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**, Brasília, DF, n. 49, p. 8-13, 2001.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE PENÁPOLIS. **Índice pluviométrico**. Disponível em: <http://www.daep.com.br/principal/indices.php>. Acesso em: 15 mai. 2011.

DALRI, A. B. **Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2001. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos.** 2004. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

DALRI, A. B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba, 2006. p. 157-170.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DAROS, E. C. et al. **Liberação nacional de novas variedades "RB" de cana-de-açúcar**. Rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, Curitiba, 2010, 64 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage, 33).

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A, H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Tradução de H. R. gheyi, A. A de Souza, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros, Campina Grande: Universidade Federal de Paraíba, 1994, p. 220-226. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

FARIA, R. T. **Estudo da lâmina de irrigação na cultura do trigo (*Triticum aestivum, L.*) utilizando o sistema de aspersão em linha**. 1991. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

FARIAS, C. H. de A. et al. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.

FARIAS, C. H. A. et al. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008.

FERREIRA, V. M. et al. Acúmulo e distribuição de macronutrientes em dois híbridos duplos de milho, em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2008.

FLEXAS, J. et al. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO_2 concentration. **New Phytologist**, Palma de Mallorca, v. 172, p. 73-82, 2006.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FRIZZONE, J. A**.** Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 43 p. (Série Didática, 6).

FRIZZONE, J. A. et al. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp*., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**, New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GOMES, M. L. A. **Função de produção do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum L.*) aos níveis de água e fertilizantes no município de pentecoste - Ce**. 2000, 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

HEXEM, R. W.; HEADY, E. O. Water productions fuctions for irrigated agriculture. Iowa: The Iowa State University Press, 1978. 215 p.

HEERDEN, P. D. R. et al. Biomass accumulation in sugarcane: unraveling tho factors underpinning reduced growth phenomena. **Jornal of Experimental Botany**, v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB** - Açúcar, Álcool e Subprodutos. Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32- 34, 1999.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 25 nov. 2011.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, 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.

INMAN-BAMBER, N. G. et al. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, Australia, v. 59, p. 13-26, 2008.

KOFFLER, N. E. **A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no Cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. 12 p. (Informações Agronômicas, 33).

JORNAL CANA. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/noticia/ProCana-Brasil/44479+JornalCana>. Acesso em: 21 fev. 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, 2006. 531 p.

LEME, E. J. A. **Otimização da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica**. 1991. 399 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

LEIVA, E.; BARRANTES, A. Incremento de la produccion de caña de azucar com riego por goteo enterrado**. Sugar y Azucar**, v. 93, n. 8, p. 26 - 31, 1998.

LIU, D. L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phonological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 90, p. 119-139, 1999.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal, In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola.** Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. (POTAFOS). Piracicaba, p. 1-11, 1987.

MACHADO, E. C. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MACHADO, R. S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, p.1575-1582, 2009.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS), p. 113-118, 1987.

MAULE, R.; MAZZA, J. A.; MARTHA JÚNIOR, 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.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JUNIOR, L. C. Tecnologia da açúcar. **Produção e industrialização da cana-de-açúcar.** Jaboticabal: Funep, 2001. 166 p.

MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M D.; WATT, D. A. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, p. 250-258, 2008.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998.121p. Tese (Doutorado em agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

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

NÓBREGA, J. C. M. de.; DORNELAS, M. C. Biotecnologia e melhoramento da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006, p. 39-56.

OLIVEIRA, R. A. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, 431 p.

PAYERO, J. O. **Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation.** Nebrasca: University of Nebraska-Lincoln Extension. All rights reserved, 2005. 8 p. (Boletim técnico).

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 631-670.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: Terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 1, p. 55-61, 1996.

YEO, A. R. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. **Scientia Horticulturae**, Brighton, v. 78, n. 1, p. 159-174, 1999.

RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico,** Campinas, 2 ed., n. 100, 285p. 1997.

RAMESH, P.; MAHADEVASWANY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Jornal Agronomy e Crop Science**, Berlim, v. 185, p. 249-258, 2000.

ROBERTSON, M. J. et al. 1996. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. Aust. J. Agric. Res. 50, 65-77.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu, SP, 99 p. Disponível em: <http://www.residenciaagronomica.ufpr.br/bibliografia/MATURAD.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012. 1995.

SANTOS, V. R. dos. et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2008.

SAMALLWOOD, M. F.; CALVERT, C. M.; BOWLES, D. J. Plant responses to environmental stress, **Bios Scientific,** New York, 1999. 224 p.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar, IN: **Atualizações em produção de cana-de-açúcar**, SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Piracicaba, 2006, p. 19-36.

SILVA, M. de A. et al. Fenologia da cana-de-açúcar. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R. P. **Tópicos em ecofisiológia da cana-de-açúcar.** Botucatu: FEPAF, 2010, p. 8-21.

SINCLAIR, T. R. et al. Surgacane leaf area development under field conditions in Florida, EUA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, p. 171-178, 2004.

SINGELS, A. et al. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 249-260, 2005.

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

SNIDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. J. of Irrig. and Drain. Eng., 118:977-980, 1992.

SOUZA, J. L. et al. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 131-141, 2004.

SOUSA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-12, 1999.

SRINIVAS, K.; HEGEDE, D. M.; HAVANAGI, G. V. Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of water melon (*Citrullus linatus* (Thamb.) Matsum et Nakai) under drip and furrow. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 64, n. 1, p. 115-124, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2006. 690 p.

TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-deaçúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada.** 2011. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRADO JÚNIOR, L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. especial, 1997.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 593-600, 1976.

TOKESHI, H. Perfilhamento e perdas pelo carvão da cana-de-açúcar. **Revista STAB** - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 4, n. 5, p. 34-44, 1986.

VAN DEN BERG, M.; BURROUGH, P. A.; CRIESSEN. P. M. Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences for simulated sugarcane yield potentials in São Paulo State, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 81, p. 43-55, 2000.

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Resultados da análise de variância para o número de plantas por metro linear, em duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a lâminas de irrigação, em função dos dias após o plantio (DAP). L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

Épocas de avaliação	Tratamentos / RB965902						
	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
120	25,75 B	25,75 B	28,73 A	28,50 A	30,00 A	27,50 A	23,00 B
150	20,25 B	22,00 B	23,75 B	27,25 A	29,00 A	25,75 A	22,00 B
	Tratamentos / RB855454						
120	15,75 C	21,00 B	20,25 B	25,00 A	26,75 A	25,25 A	24,75 A
150	22,00 B	23,75 B	28,50 A	24,25 B	27,25 A	29,00 A	28,75 A
360	11,00 B	15,00 A	13,00 A	10,50 B	12,50 A	14,00 A	14,00 A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knott, a 0,05 de probabilidade.

Apêndice 2 - Resultados da análise de variância para a altura das plantas, de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a lâminas de irrigação em função dos DAP. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

Épocas de avaliação	Tratamentos / RB965902						
	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
120	28,00 B	32,80 A	35,92 A	30,75 B	35,25 A	32,35 A	34,25 A
150	46,82 D	69,40 A	68,42 A	58,65 C	56,87 C	58,37 C	62,95 B
180	117,10E	159,17A	141,17 B	134,95C	131,00D	136,50C	142,35B
210	187,37 F	248,67A	215,75 C	211,15D	205,00E	213,50C	221,87B
270	301,75 F	315,75D	327,90 A	324,30B	316,12D	318,90C	305,25E
360	418,71B	444,46A	446,33 A	433,93A	429,22B	449,75A	399,71B
	Tratamentos / RB855454						
120	23,15 B	27,75 A	26,95 A	24,37 B	24,62 B	26,57 A	29,65 A
150	34,35 C	45,90 B	42,12 B	44,50 B	43,00 B	45,32 B	50,00 A
180	93,25 C	105,00B	103,15 B	104,92B	103,17B	103,90B	108,95A
210	151,17C	164,12B	164,20 B	165,42B	163,35B	162,40B	167,87A
270	257,75D	263,25C	265,75 B	267,00B	268,47B	290,00A	265,75B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knott, a 0,05 de probabilidade.

Apêndice 3 - Resultados da análise de variância para o índice de área foliar (IAF) de duas variedades de cana-de-açúcar, submetidas a lâminas de irrigação em função dos DAP. L_0 = testemunha, L_1 = 25%, L_2 = 50%, L_3 = 75%, L_4 = 100, L_5 = 125% e L_6 = 150% da ETc.

Épocas de avaliação	Tratamentos / RB965902						
	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
120	2,52 F	2,77 E	3,84 A	2,98 D	3,62 B	3,62 B	3,30 C
150	3,46 F	4,47 D	4,52 D	3,96 E	5,26 A	4,95 B	4,64 C
210	7,20 D	7,80 C	8,76 B	6,70 E	9,57 A	8,60 B	8,50 B
360	4,08 B	4,28 B	5,02 A	3,98 B	5,58 A	5,72 A	4,66 B
	Tratamentos / RB855454						
120	1,75 D	2,48 B	2,55 B	2,50 B	2,67 A	2,47 B	2,37 C
150	3,65 D	3,72 D	4,28 A	3,91 C	4,26 A	4,05 B	4,14 B
210	7,37 C	8,31 A	7,88 B	7,75 B	8,21 A	7,86 B	8,30 A
360	6,10 B	6,25 B	7,80 A	6,41 B	7,09 B	8,22 A	6,90 B

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knott, a 0,05 de probabilidade.

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.