**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-
açúcar sob diferentes lâminas de irrigação**

Pedro Elia

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2016**

Pedro Elia
Engenheiro Agrônomo

**Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob
diferentes lâminas de irrigação**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JARBAS HONORIO DE MIRANDA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Elia, Pedro

Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação / Pedro Elia. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

88 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Mudas pré-brotadas 2. Cana-de-açúcar 3. Manejo da Irrigação I. Título

CDD 633.61
E42e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico,

À minha esposa Michelle Aparecida de Carvalho Moraes Elia e filha Sophia Moraes Elia, pela paciência, incentivo nas horas difíceis e amor. Vocês são meu estímulo de vida, minha inspiração de VIVER meu TUDO. AMO MUITO vocês;

Aos meus pais, André Elia Neto e Benedita Elia e irmãos Mateus Elia, Bartira Elia e Tiago Elia, pelo apoio nos momentos de desânimo, dedicação e carinho em toda a jornada de minha vida. MUITO OBRIGADO;

Ao meu orientador Jarbas Honorio de Miranda, pelas orientações tanto técnicas quanto pessoais e pela "força" constante nos ensinamentos compartilhados. Serei eternamente GRATO;

A todos os meus amigos que de forma direta ou indireta sempre colaboraram e me apoiaram para que conseguisse chegar onde estou. FORTE ABRAÇO;

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade;

Aos professores Jarbas Honorio de Miranda, Paulo César Sentelhas, Sergio Nascimento Duarte, Marcos Vinicius Folegatti, José Antonio Frizzzone, Rubens Duarte Coelho e Miguel Cooper, pelo ensino e aprendizagem;

Aos amigos Fernando Benvenuti, Clébio Mاتيoli, Claudimir Penatti, Sergio Veronez, Nilton Degaspari, Marcelo Ferrero, Luiz Gonzaga, pela ajuda, conhecimentos técnicos e coleguismo profissional;

As empresas RAÍZEN ENERGIA S/A, RAESA BRASIL S/A, BASF THE CHEMICAL COMPANY, CTC – CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA S/A, EDRA ÓLEO, GÁS e BIOENERGIA, pelo apoio nos recursos, estrutura e suporte técnico para desenvolvimento da pesquisa;

Em especial aos amigos que proporcionaram vários momentos de alegria, descontração e conselhos: Luciano Vieira, Marcelo Romão, Priscila Biagioni, Ralph Rammer, Jean Quaresma, Marco Bortoletto, Pedro Henrique Chinelato, Luciano Alves de Oliveira, Isaac Ponciano, Carlos Yutaka, Diego Marsão, Olair Ortolan e outros amigos de trabalhos que não foram mencionados.

A todos os funcionários, alunos, colegas e pessoas que conheci no Departamento de Engenharia de Biossistemas e/ou durante as disciplinas e outros que não foram mencionados.

EPÍGRAFE

*“Os homens perdem a
saúde para juntar dinheiro,
depois perdem o dinheiro
para recuperar saúde.
E por pensarem ansiosamente
no futuro esquecem do presente
de forma que acabam por não
viver nem no presente nem no futuro.
Vivem como se nunca fossem morrer
e morrem como se nunca tivessem vivido”*

(Dalai Lama)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 DESENVOLVIMENTO.....	21
2.1 Revisão Bibliográfica	21
2.1.1 Aspectos gerais da cana-de-açúcar	21
2.1.2 Fases fenológicas	23
2.1.3 Sistema radicular	26
2.1.4 Variedades de cana-de-açúcar	29
2.1.5 Formação de viveiros de mudas de cana-de-açúcar	30
2.1.6 Adubação da cana-de-açúcar	32
2.1.7 Plantio de cana-de-açúcar	33
2.1.8 Multiplicação da cana-de-açúcar	34
2.1.9 Irrigação e deficiência hídrica em cana-de-açúcar	35
2.2 Material e Métodos.....	39
2.2.1 Caracterização da área experimental	39
2.2.1.1 Local do experimento	39
2.2.1.2 Clima.....	39
2.2.2 Instalação do experimento	41
2.2.2.1 Área experimental	41
2.2.2.2 Solo.....	42
2.2.2.3 Análise físico-química do solo	43
2.2.3 Delineamento experimental.....	46
2.2.4 Preparo do solo e plantio das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar	48
2.2.5 Manejo da irrigação	51
2.2.5.1 Sistema de irrigação.....	51
2.2.5.2 Determinação e monitoramento da irrigação.....	53
2.2.6 Biometria	55
2.2.6.1 Análises não destrutivas	55
2.2.6.2 Análises destrutivas	57

2.2.7 Análise Estatística dos Dados	58
2.3 Resultados e Discussão	58
2.3.1 Dados meteorológicos gerais	58
2.3.2 Balanço hídrico por tratamento	59
2.3.3 Estabelecimento e desenvolvimento da mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar	62
2.3.3.1 Mortalidade acumulada das mudas pré-brotadas	62
2.3.3.2 Crescimento e desenvolvimento radicular	64
2.3.3.3 Crescimento e desenvolvimento da parte aérea (Análises “destrutivas”)	66
2.3.3.4 Crescimento e desenvolvimento da parte aérea (Análises “não destrutivas”)	70
3 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	81

RESUMO

Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação

Na atual conjuntura, no que se refere à energia renovável, o etanol é um dos principais, se não o mais importante, produto brasileiro. Proveniente da fermentação de açúcares, processo conhecido há séculos, tem se tornado o carro chefe do país como garantia de voz ativa nas discussões energéticas pelo mundo afora. Porém, atualmente, o setor sucroalcooleiro está passando por um momento de cautela devido à queda de produtividade e longevidade dos canaviais ao longo dos últimos anos ocasionados principalmente pela mecanização da colheita e plantio da cana-de-açúcar. Cabe ressaltar que as perdas de produção podem ser ainda maiores diante da ausência do manejo varietal e de cuidados adequados em relação à sanidade de mudas utilizadas para a multiplicação de viveiros. Nesse sentido, nos últimos anos, o emprego da irrigação no cultivo da cana-de-açúcar associada a outras tecnologias de plantio, tais como formação de viveiros com mudas pré-brotadas, vem merecendo papel de destaque. Esse cenário obriga pesquisadores a buscar novas tecnologias para aumento de produtividade, longevidade dos canaviais e redução do custo por tonelada de cana produzida, tais como a produção de mudas sadias para formação de viveiros de cana-de-açúcar. Diante disso, a presente pesquisa teve por objetivo, submeter mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar durante plantio de inverno, na região de Piracicaba, SP, sob diferentes lâminas de irrigação (10 mm; 20 mm; 30 mm e 40 mm), utilizando um sistema de irrigação por aspersão com alas móveis. Dessa forma, buscou-se determinar qual seria a melhor lâmina de irrigação, necessária para garantir o melhor índice de pegamento e alto vigor no estabelecimento e desenvolvimento das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar para a região de Piracicaba-SP. Foram feitas avaliações periódicas (não destrutivas), tais como: mortalidade das mudas; clorofila total na folha; tamanho da muda; índice de área foliar; número de perfilhos brotados por metro; percentual de falha no canavial. Além de avaliações periódicas (destrutivas), tais como: avaliação do tamanho da raiz; massa seca da raiz; massa seca da parte aérea e número de perfilhos totais. As análises estatísticas das lâminas de irrigação foram realizadas pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Diante dos resultados obtidos, verificou-se que a lâmina de 10 mm possibilitou os melhores índices de pegamento e proporcionou um índice superior a 97,8% de sobrevivência de mudas. Também, observou-se uma estreita relação entre o índice de mortalidade no plantio de inverno das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar com o manejo da irrigação, a qual nos primeiros dias após plantio foi fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas. Cabe ressaltar que em caso da adoção de outro manejo de irrigação, com lâminas maiores, nessas condições experimentais, possivelmente haveria perdas de água, cujo fato nos dias atuais não é o ideal tendo em vista a busca por economia e manejo racional da água.

Palavras-chave: Mudas pré-brotadas; Cana-de-açúcar; Manejo da irrigação

ABSTRACT

Establishment and development of pre-sprouted sugarcane seedlings under different irrigation levels

Ethanol is a major, if not the most important, renewable energy product in Brazil. Obtained from the fermentation of sugar, a process known for centuries, it has become the flagship product of the country, assuring Brazil a voice in energy discussions worldwide. However, the sugar and alcohol sector has fallen upon hard times, due to decreased productivity and longevity of sugarcane fields, resulting from the mechanization of sugarcane planting and harvesting. Production losses are further exacerbated by the absence of varietal management and proper seedling care in nurseries. In recent years, irrigation methods used in sugarcane cultivation, and other technologies such as the use of pre-sprouted seedlings in nurseries, have risen in prominence. Researchers are developing new technologies to increase sugarcane productivity and longevity, to reduce the cost of production, and to produce healthy seedlings. The aim of this study was to subject pre-sprouted sugarcane seedlings to different levels of irrigation (10 mm, 20 mm, 30 mm and 40 mm) sprayed with movable wings, during winter, to determine the optimum water application depth to ensure the best fixation index and high force in the establishment and development of pre-sprouted seedlings of sugarcane for the Piracicaba-SP region. The seedlings were evaluated using non-destructive measures such as mortality of seedlings; chlorophyll in leaf; seedling size; leaf area index; number of tillers per meter sprouted; and failure percentage after transplanting. Additional destructive measures included the evaluation of root size; root dry mass; dry mass of shoots and number of total tillers. Statistical analyses of irrigation levels were achieved using the Tukey method at 5% probability. Based on these results, it was found that a 10 mm depth of water application resulted in a better fixation index and provided an index higher than 97.8% seedling survival. Also, there was a close relationship between the death rate of winter planted pre-sprouted sugarcane seedlings and irrigation management. The early days after planting were critical in seedling establishment and development. It should be noted that under different irrigation management, such as the use of larger blades, there might be additional water loss under these experimental conditions, which would not be consistent with the search for water savings and rational water management.

Keywords: Pre-sprouted seedlings; Sugarcane; Irrigation management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar ciclo cana planta com plantio de inverno (Gascho & Shih, 1983)	24
Figura 2 - Sistema radicular de uma planta jovem de cana-de-açúcar, mostrando as raízes emergentes na base do tolete e as raízes emergentes a partir da base do perfilho (BLACKBURN, 1984 apud SMITH et al., 2005)	27
Figura 3 - Sistema radicular de uma planta estabelecida, mostrando três tipos de raízes funcionais: superficiais, de fixação e raízes-cordão (BLACKBURN, 1984 apud BEAUCLAIR & SCARPARI, 2007)	28
Figura 4 - Localização da área experimental (A) e layout da área experimental (Fazenda Santana) com ponto de captação d'água e caminhamento da tubulação (B)	39
Figura 5 - Valores médios mensais registrados durante a condução do experimento (janeiro de 2014 a dezembro de 2014): temperatura média do ar (°C) e radiação global (MJ m ⁻²) (A), precipitação (mm) e evapotranspiração potencial (mm) (B), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m s ⁻¹) (C)	40
Figura 6 - Croqui da parcela demonstrando área de coleta dos dados, bordadura para mitigar os efeitos da deriva e espaçamento entre aspersores de 10 m x 9,6 m	42
Figura 7 - Mapa da Classificação de solos da Fazenda Santana (Fonte: Usina Costa Pinto)...	42
Figura 8 – Início da análise da infiltração de água no solo foto (A) e final da análise foto (B)	45
Figura 9 - Curva de Infiltração acumulada (cm) e Velocidade de Infiltração Básica (cm h ⁻¹)	46
Figura 10 - Distribuição dos tratamentos, sendo T (tratamento) e R (repetição)	48
Figura 11 - Área experimental após as operações gradagens pesada/niveladora e calagem corretiva para preparo do solo (A e B) implemento utilizado para realizar a operação de sulcação (C) e área experimental após operação de sulcação (D)	49
Figura 12 – Bandeja com 168 mudas pré-brotadas variedade CTC 20 (A) e acomodação das mudas antes do plantio (B)	49
Figura 13 - Implemento utilizado para realizar operação cobertura do solo (A) e área experimental após operação de cobertura dos sulcos (B)	50
Figura 14 - Gabarito com 50 cm utilizado para marcar espaçamento entre mudas (A) e matraca utilizadas para plantio (B)	50
Figura 15 - Esquema do sistema de plantio combinado no espaçamento de 1,5m x 0,90m	51

Figura 16 - Área experimental na operação de plantio das mudas pré-brotadas (A) e área após plantio (B).....	51
Figura 17 - Software WinSSIP2 simulando os valores de taxa de aplicação, uniformidade de distribuição e coeficiente de uniformidade de Christiansen (A) e gráfico em 3D da uniformidade de distribuição na área da parcela com 20 x 9,6 m (B)	52
Figura 18 - Adutora principal de DN 6" e derivação secundária de DN 2" (A), entrada de ramal secundário com aspersor a 70 cm do solo (B), aspersor círculo parcial com ângulo de 90° (C) e ramal de irrigação na parcela aos 13 DAP no bloco 3 (D)...	53
Figura 19 - Monitoramento da pressão de trabalho 4,2 kgf cm ⁻² (A), Irrigação no 1° DAP (B), 6° DAP (C) e 13° DAP (D)	54
Figura 20 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura (T - °C) e evapotranspiração de referência estimada (ET _o - mm dia ⁻¹) (A); radiação solar (R _s - MJ m ⁻² dia ⁻¹) e umidade relativa média (UR - %) (B).....	59
Figura 21 - Balanço hídrico para T0 (A), T1 (B), T2 (C), T3 (D) e T4 (E) demonstrando como foi o comportamento do déficit (mm dia ⁻¹) e excedente (mm dia ⁻¹) do plantio das mudas até os 69 DAP	60
Figura 22 - Regime de chuvas e precipitação (mm) para o período de 76 DAP.....	62
Figura 23 - Evolução do percentual da mortalidade acumulada (MM) em função dos dias após plantio (A) e mortalidade total aos 156 DAP (B).....	63
Figura 24 - Evolução média do crescimento e desenvolvimento radicular - TR (cm).....	66
Figura 25 - Evolução média da massa seca radicular - MSR (g muda ⁻¹)	66
Figura 26 - Evolução média do número de perfilhos por touceira - NPT	69
Figura 27 - Evolução média da massa seca parte aérea - MSA (g muda ⁻¹).....	69
Figura 28 - Evolução média do número de perfilhos por metro - NPM.....	73
Figura 29 - Evolução média do crescimento e desenvolvimento em tamanho da parte aérea - TM (cm).....	73
Figura 30 - Evolução média do índice de área foliar - IAF.....	73
Figura 31 - Evolução média da clorofila total nas folhas - CTF (μ cm ⁻²)	75
Figura 32 - Número de colmos por metro - NPM e falha do canavial - FV aos 206 DAP	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) recomendados para a cana planta (Fonte: Penatti, 2013)	32
Tabela 2 - Quantidade de nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) recomendados para a cana soca (Fonte: Penatti, 2013).....	32
Tabela 3 - Análise química do Latossolo Vermelho - Amarelo (Fonte: Usina Costa Pinto) ...	43
Tabela 4 – Valores dos parâmetros do modelo de van Genuchten (1980) do solo nas camadas de 0 a 25 cm e 25 a 50 cm de profundidade	44
Tabela 5 – Análise físico-hídrica, granulométrica e hídrica do Latossolo Vermelho – Amarelo	44
Tabela 6 - Descrição dos tratamentos, lâminas de irrigação (h) utilizadas e turno de rega (TR) adotados.....	47
Tabela 7 - Descrição dos tratamentos, lâminas de irrigação utilizadas nos turnos de rega (TR) de 1, 6 e 13 DAP	54
Tabela 8 – Chuvas ocorridas nos dias após plantio e chuva acumulada até 76 DAP.....	61
Tabela 9 – Acompanhamento das médias do desenvolvimento radicular (cm) ⁽¹⁾	64
Tabela 10 – Acompanhamento das médias do acúmulo de massa seca da raiz em g muda ⁻¹ ⁽¹⁾	65
Tabela 11 – Acompanhamento das médias do desenvolvimento no número de perfilhos total por touceira ⁽¹⁾	67
Tabela 12 – Acompanhamento das médias do acúmulo de massa seca parte aérea em g muda ⁻¹ ⁽¹⁾	67
Tabela 13 – Acompanhamento das médias do desenvolvimento no número de perfilhos por metro ⁽¹⁾	70
Tabela 14 – Acompanhamento das médias do tamanho médio da muda ou touceira (cm) ⁽¹⁾ ..	70
Tabela 15 – Acompanhamento das médias do índice de área foliar ⁽¹⁾	70
Tabela 16 – Acompanhamento das médias da clorofila total nas folhas em $\mu\text{ cm}^{-2}$ ⁽¹⁾	74
Tabela 17 – Análise aos 206 DAP do NPM – número de colmos por metro e FV – falha do canavial em (%) ⁽¹⁾	76

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar cultivada no Brasil possui uma posição de destaque, pois além de ser uma cultura que ocupa uma grande extensão territorial, também apresenta expressividade econômica junto ao agronegócio brasileiro. Devido à atratividade do mercado de bioenergia, juntamente com a tecnologia FFV (*Flexible Fuel Vehicle*) ou veículo de combustível duplo (*Dual Fuel Vehicle*), o setor canavieiro passa por uma expansão no mercado interno e no mercado mundial. Isso, em termos macroeconômicos, implica em um aumento de investimento no setor sucroalcooleiro e surgimento de novas tecnologias, com maior geração de renda para o país.

Com a implantação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), primeira política pública importante no país referente ao uso do etanol como combustível (criado na década de 70), a cultura da cana-de-açúcar expandiu-se para diversas regiões do país. Atualmente, a área cultivada com cana-de-açúcar, no Brasil, é de 8,9955 milhões de hectares, sendo que o Estado de São Paulo possui a maior participação com 52,09% (4,6857 milhões de hectares); seguido por Goiás com 10,09% (908 mil hectares); Minas Gerais com 9,02% (811,2 mil hectares); Mato Grosso do Sul com 7,54% (677,9 mil hectares); Paraná com 6,62% (596 mil hectares); Alagoas com 3,76% (338,3 mil hectares) e Pernambuco com 2,93% (264 mil hectares), Mato Grosso com 2,56% (230,3 mil hectares); nos demais estados produtores as áreas são menores com representação abaixo de 2,5% (CONAB, 2015).

A produção total de cana-de-açúcar destinada à indústria, estimada para a safra 2015/16, é de 658,7 milhões de toneladas, com incremento de 3,8% em relação à safra 2014/15, o que significa um aumento de 23,9 milhões de toneladas que a safra anterior. Para a safra 2015/16 a produtividade brasileira estimada é de $73,22 \text{ t ha}^{-1}$, com um aumento de 3,9% em relação à safra 2014/15, principalmente devido às boas condições climáticas nesse ano safra em relação ao ano passado, além do maior investimento em manutenção dos canaviais e aumento de área de renovação e expansão (CONAB, 2015).

Porém, o setor sucroalcooleiro está passando por um momento de cautela devido à queda de produtividade e longevidade dos canaviais ao longo dos últimos anos. Tal processo pode estar associado principalmente à mecanização das operações agrícolas como colheita e plantio mecanizado, cabendo ressaltar que na ausência do manejo varietal, bem como, de cuidados adequados com a sanidade das mudas utilizadas para a multiplicação de viveiros, as perdas de produção podem ser ainda maiores, dessa forma contribuindo de maneira

significativa para essa baixa produtividade. Nesse sentido, nos últimos anos, o emprego da irrigação na cana-de-açúcar associado a outras tecnologias de plantio, tais como, mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, tem merecido destaque. Principalmente quando se busca utilizá-la como ferramenta agrícola capaz de aumentar a produtividade, longevidade e qualidade dos canaviais, com redução de custo em curto prazo, ou seja, de uma safra para outra.

Esse cenário obriga aos pesquisadores buscar por novas tecnologias para aumento de produtividade, longevidade dos canaviais e redução do custo por tonelada de cana produzida, como o sistema de produção com mudas pré-brotadas (agricultura de mudas sadias) para formação de viveiros de cana-de-açúcar e novos canaviais. Tal tecnologia busca a produção rápida de mudas com alto potencial produtivo, associando elevado padrão de sanidade e rastreabilidade genética ao elevado vigor e uniformidade de plantio, oriundas de variedades nobres, principalmente quando associado à irrigação, dessa forma contribuindo para um desenvolvimento sustentável do setor.

Portanto, a presente pesquisa teve como objetivo principal avaliar o estabelecimento e desenvolvimento das mudas de cana-de-açúcar variedade CTC20, na região de Piracicaba-SP, oriundas do processo de produção de mudas pré-brotadas (tecnologia que certamente vai contribuir para recuperar e aumentar a produtividade agrícola), em plantio e reforma de inverno (plantio que contribui para um aumento de produção mais rápido, ou seja, de uma safra para outra, e depende diretamente da irrigação para garantir o pegamento), sob diferentes lâminas de irrigação (10 mm; 20 mm; 30 mm e 40 mm), aplicadas por um sistema de irrigação por aspersão com alas móveis, dessa forma os resultados obtidos contribuirão para projetos e estudos de viabilidade da tecnologia de implantação de mudas pré-brotadas.

Em termos de objetivos específicos buscou-se avaliar o estabelecimento e desenvolvimento de mudas por meio de avaliações periódicas (não destrutivas): mortalidade das mudas; clorofila total na folha; tamanho da muda; índice de área foliar; número de perfilhos brotados por metro; percentual de falha no canavial. Além de realizar avaliações periódicas (destrutivas), tais como: avaliação do tamanho da raiz; massa seca da raiz; massa seca da parte aérea e número de perfilhos totais.

Nesse sentido, tem-se como hipótese da pesquisa que a irrigação propicia uma melhoria no índice de pegamento e maior vigor no estabelecimento e desenvolvimento das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. E dessa forma buscar-se-á qual será a lâmina de irrigação ideal, necessária para garantir o melhor índice de pegamento e alto vigor no estabelecimento e desenvolvimento das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, para a região canavieira de Piracicaba-SP.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Aspectos gerais da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é da família das poaceae classificada como cultura semiperene com metabolismo fotossintético C4, originária da Nova Guiné (ilha localizada no sudoeste do oceano pacífico, a leste do arquipélago malaio, formando o arquipélago indo-australiano), onde sua existência era considerada como estado de planta silvestre e ornamental. A partir da Nova Guiné, disseminou-se para várias ilhas do sul do oceano pacífico, na Indochina, no Arquipélago da Malásia e em Bengala, sendo certo o seu aparecimento como planta produtora de açúcar na Índia. Aparentemente, os persas foram os primeiros a desenvolverem técnicas de produção de açúcar na forma cristalizada, tal como se conhece atualmente (DELGADO & CÉSAR, 1977).

No Brasil, começou o seu cultivo no início da colonização, onde os primeiros relatos dessa cultura foram obtidos em meados do século XVI em São Vicente, SP, mas foi nos estados da região Nordeste que a cultura fixou-se inicialmente. No final do século XVI, os estados de Pernambuco e Bahia já possuíam uma centena de engenhos (FIGUEIREDO, 2008) e em meados da década de 1970, com a crise do petróleo, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de etanol (MOZAMBANI et al., 2006). Com a criação do Plano Nacional de Produção de Álcool (Proálcool) em 1975, houve uma grande expansão do setor sucroalcooleiro, principalmente no interior paulista, colocando o Brasil como um país de destaque na produção de energias renováveis (MOZAMBANI et al., 2006).

Atualmente, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, não só pelo seu elevado destaque no contexto nacional e internacional, mas também pela dinâmica apresentada nos últimos anos e pelas perspectivas de crescimento no setor (RODRIGUES, 2006). Nesse contexto, a cana-de-açúcar destaca-se no âmbito nacional como sendo uma cultura energética e devido à atual preocupação ambiental mundial, o álcool é o combustível do momento ao lado do biodiesel, tornando o Brasil o país com um grande potencial para produzir e exportar etanol (BRAGION, 2013).

Segundo Veiga et al. (2006) a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil no período de 1970 a 2004, aumentou de forma significativa, variando de 46,23 t ha⁻¹ (na safra 1970/71)

a 73,88 t ha⁻¹ (na safra 2004/05), basicamente esse incremento de produtividade foi obtido pelo melhoramento genético varietal. Porém, a cana-de-açúcar pode alcançar produtividades ainda maiores quando são utilizadas técnicas de reforma do canavial com plantio de mudas pré-brotadas (sadias) de cana-de-açúcar, isso associado a um bom manejo de irrigação.

A cana-de-açúcar é uma gramínea tropical perene, que se desenvolve em forma de touceira com perfilhos em sua base com mais de 2 m de altura e diâmetro com cerca de 5 cm (JAMES, 2004). Segundo Inman-Bamber et al. (2002) a fração da biomassa pertencente ao colmo aumenta conforme ocorre o aumento da biomassa total, sendo que esta fração é nula antes do início do crescimento do colmo atingindo seu valor máximo quando ocorre a maturação da cultura. Esta fração é afetada diretamente por estresse hídrico, temperatura e cultivar. Keating et al. (1999) considera como constante o valor de 70% para fração do colmo na planta colhida, já em literatura podem ser encontrados valores entre 59% a 73%.

Durante o ciclo da cultura, ocorre um período de produção intensa de colmos, com picos entre 3º e 5º meses após o plantio de cana-de-açúcar de “ano e meio”, mas em seguida 50% deste total são extintos e a população se estabiliza perto dos 9 meses de idade (BULL, 1975). Ao serem descartados durante o processo de competição, não constituem mais a matéria viva e, portanto, não consomem mais energia pelo processo respiratório (BARBIERI, 1993).

A folha da cana-de-açúcar é constituída por duas partes: bainha que liga a folha a colmo da planta na base dos nós e a lâmina foliar que faz o processo de transpiração vegetal, respiração e fotossíntese. Possui a função de coletar a energia do meio externo, podendo chegar a 150 cm de comprimento e 10 cm de largura, sendo uma das partes das plantas que diferem as variedades de cana-de-açúcar. Outras variações ainda podem ocorrer em alguns elementos da bainha como a lígula, a aurícula e o “*dewlap*” (JAMES, 2004).

Apesar de não apresentar benefício para o cultivo comercial por causar um processo chamado de isoporização do colmo, as plantas de cana-de-açúcar emitem inflorescência quando estimuladas. Berding et al. (2005) consideram que as condições para a ocorrência do florescimento são temperatura noturna acima de 21°C e tendência de redução do fotoperíodo. Além do fotoperíodo e da temperatura do ar, a boa disponibilidade de água no solo também é favorável ao florescimento (ALFONSI et al., 1987).

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a cana-de-açúcar é cultivada em várias regiões localizadas principalmente entre os paralelos de 35°N e 35°S, em altitudes que variam do nível do mar a 1000 metros (Magalhães, 1987), o que engloba vários tipos de clima.

Como a cana-de-açúcar é uma planta do tipo C4, as altas eficiências fotossintéticas devem-se às altas intensidades luminosas. Com elevadas taxas de radiação, os colmos são mais grossos e curtos, as folhas são mais longas e verdes e o perfilhamento é mais intenso. Em condições de baixa irradiância, os colmos são mais finos e longos e as folhas são mais estreitas e amarelas (Rodrigues, 1995). Quanto maior a quantidade luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cultura e, logicamente, maior o seu desenvolvimento e acúmulo de açúcares (Barbieri, 1981).

A temperatura é, provavelmente, o fator ambiental que mais influência no desempenho da cana-de-açúcar. De acordo com Fauconnier e Bassereau (1975), temperaturas abaixo de 25°C ocasionam um crescimento lento da planta. Entre 30 a 34°C a planta alcança o crescimento máximo e, acima de 35°C, volta a ser lento, tornando-se praticamente nulo sob temperaturas superiores a 38°C. Segundo Barbieri et al. (1979), a temperatura ideal para germinação das gemas da cana-de-açúcar situa-se entre 32 a 38°C. O crescimento ótimo é obtido com temperaturas médias diárias entre 22 a 30°C e, acima de 38°C, o crescimento é muito lento. A taxa de crescimento se reduz com temperaturas abaixo de 20°C, sendo essa a temperatura basal para a cultura. Para a maturação e colheita, são desejáveis temperaturas relativamente baixas, entre 10 e 20°C, pois o tempo frio retarda a taxa de crescimento vegetativo e estimula o enriquecimento da sacarose na cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar, por se tratar de uma espécie de grande eficiência fotossintética, tem seu ponto de saturação luminosa elevado. Assim, quanto maior for a intensidade luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cultura, o crescimento e o desenvolvimento da cultura serão mais eficientes e haverá um maior acúmulo de açúcares. Segundo Barbieri (1981), o fotoperíodo é um importante fator para o desenvolvimento das culturas e afeta o comprimento dos colmos. Em fotoperíodos que variam entre 10 e 14 horas há um aumento no tamanho dos colmos. No entanto, em fotoperíodos longos, entre 16 a 18 horas, o colmo sofre redução em seu tamanho.

2.1.2 Fases fenológicas

A fenologia estuda as mudanças exteriores (morfologia) e as transformações que estão relacionadas ao ciclo da cultura. Representa, portanto, os estudos de como as plantas de um modo geral se desenvolvem ao longo de suas diferentes fases: germinação, emergência,

crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação.

Doorenbos e Kassan (1979) definem três fases para a cana-de-açúcar: a primeira é a de estabelecimento somado ao período vegetativo, a segunda é a da formação da produção e a terceira é a da maturação. Santos et al. (2009), avaliando o crescimento da variedade RB75126, separaram também em três fases de crescimento o ciclo de cana planta: 1ª fase – de intenso perfilhamento, até 120 dias após o plantio (DAP); 2ª fase – de grande crescimento em altura, estabilização do índice de área foliar (IAF) e intenso acúmulo de material orgânico, de 120 a 240 DAP; e 3ª fase – de maturação dos colmos, entre 240 e 360 DAP.

Outros autores, como Gascho e Shih (1983) e Câmara (1993), dividem este ciclo de crescimento nas seguintes fases fenológicas: brotação e emergência; perfilhamento; crescimento dos colmos; e maturação dos colmos (Figura 1).

Figura 1 - Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar ciclo cana planta com plantio de inverno (Gascho & Shih, 1983)

Seguindo a divisão desses mesmos autores, as fases são caracterizadas da seguinte maneira:

Brotação e emergência: iniciam-se quando o broto rompe as folhas da gema e se desenvolve em direção à superfície do solo. Ao mesmo tempo surgem as raízes do tolete. A emergência do broto ocorre de 20 a 30 DAP. O broto é um caule em miniatura que surge acima da superfície do solo (chamado de colmo primário). Essa fase depende da qualidade da muda, ambiente, época e manejo do plantio. Neste estágio ocorre, ainda, o enraizamento inicial (duas a três semanas após a emergência) e o aparecimento das primeiras folhas. A fase de brotação do processo de produção de mudas pré-brotada leva de 40 a 60 DAP com condições ambientais ideais controladas por casa de vegetação até atingir reserva vegetativa suficiente para plantio em campo.

Perfilhamento: é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. O processo de perfilhamento é regulado por hormônios e resulta no crescimento de brotos que vão em direção à superfície do solo. Esses brotos aparecem de 20 a 30 dias após a emergência do colmo primário. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que será colhida. É importante destacar que a formação do sistema radicular da touceira é resultado do desenvolvimento das raízes de cada perfilho. O auge do perfilhamento é quando ocorre a total cobertura do solo pela folhagem das plantas, fase na qual cada touceira possui o máximo de perfilhos. Para cana planta provida do processo de produção de mudas pré-brotada, essa fase leva de 180 a 210 DAP para chegar ao final, ou seja, situação em que a touceira de cana atingiu a estabilização no número total de perfilhos ou colmos formados existentes na mesma. A restrição hídrica pode ocasionar atraso no ciclo vegetativo da cultura e consequentemente aumento do tempo dessa fase.

Crescimento dos colmos: a partir do auge do perfilhamento, os colmos sobreviventes continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base. O crescimento é estimulado por luz, umidade e calor. Durante essa fase, as folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam. O crescimento do sistema radicular torna-se mais intenso, tanto nas laterais quanto em profundidade. A maior parte das raízes está nos primeiros 40 centímetros de profundidade, sendo esta a zona principal no que concerne a absorção de água e nutrientes por parte da cultura. O canavial pode atingir altura acima de três metros, com a população final de colmos, variando em função das condições de clima, solo e variedade genética cultivada.

Maturação dos Colmos: a maturação inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos sobreviventes do perfilhamento das touceiras. É válido mencionar, novamente, que o excesso de açúcar permanece armazenado na base de cada colmo. Quando as touceiras

atingem altura igual ou superior a dois metros, nota-se o amarelecimento e a consequente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região. No período entre o outono e o inverno, com a presença de chuvas variáveis e temperaturas mais baixas, existe maior atividade de maturação e menor atividade de crescimento, sendo que há intenso armazenamento de açúcar. O momento da colheita é definido em função da variedade, época de plantio e consequente duração do ciclo, manejo da maturação e condições climáticas no ambiente.

2.1.3 Sistema radicular

Vasconcelos e Casagrande (2010) mencionam que logo após o plantio da muda, inicia-se o desenvolvimento do sistema radicular, com as raízes originárias a partir dos primórdios radiculares situados na zona radicular dos colmos plantados, tendo a função de suprir os perfilhos recém-brotados com água e nutrientes do solo, juntamente com as reservas do tolete.

Após um período variável com as condições locais, cerca de 30 a 45 dias, os primeiros perfilhos começam a emitir suas próprias raízes, a partir das zonas radiculares presentes nos próprios internódios (BEAUCLAIR & SCARPARI, 2007).

À medida que estas raízes vão se desenvolvendo, as raízes primárias vão perdendo sua função, a cana planta passa a depender exclusivamente das raízes dos perfilhos, todo o sistema radicular encontra-se distribuído nos primeiros 30 cm do solo (CASAGRANDE, 1991).

As raízes do tolete, finas e fibrosas, metabolizam até que as do colmo se desenvolvam e após essa etapa são extintas. As raízes dos perfilhos são mais grossas, possui a coifa bem desenvolvida e penetram bem no solo (Figura 2).

O sistema radicular é altamente ramificado do tipo fasciculado, melhor observado em sua parte superficial onde 85% encontram-se nos 50 primeiros centímetros e 60% nos primeiros 20 a 30 centímetros de forma orientada para baixo em sentido vertical (SEGATO et al., 2006). Se for levar em conta condições de uma cultura irrigada, Thompson (1976) encontrou em condições de solo argiloso, raízes de cana que absorveram água até 90 cm, enquanto que em solos arenosos a profundidade atingiu 1,2 metros. Já em condições sem irrigação, foi constatado que as raízes atingiram mais de 4 metros de profundidade, com absorção significativa de água em até 1,8m de profundidade.

Figura 2 - Sistema radicular de uma planta jovem de cana-de-açúcar, mostrando as raízes emergentes na base do tolete e as raízes emergentes a partir da base do perfilho (BLACKBURN, 1984 apud SMITH et al., 2005)

Cada perfilho comporta-se como sendo uma planta independente e, portanto, cada um possui um sistema radicular próprio, podendo eventualmente trocar alguns nutrientes e água, pois continuam tendo ligações entre si. Assim, à medida que aumenta o perfilho, aumenta-se o volume de raízes explorando o solo até um ponto de estabilização, quando simplesmente ocorrem renovações das raízes velhas (BEAUCLAIR & SCARPARI, 2007). Com a idade de três meses, as raízes primárias correspondem a menos de 2% da matéria seca da raiz (SMITH et al., 2005).

As raízes que têm origem na base dos perfilhos raramente se ramificam durante o início do desenvolvimento, sendo mais comum a ramificação quando o crescimento em alongamento é completado. As radículas são densamente cobertas de pelos absorventes, conferindo-lhes maior superfície de absorção (CASAGRANDE, 1991).

Em linhas gerais, Beauclair e Scarpari (2007) citam que o sistema radicular da cana-de-açúcar é bem distribuído ao longo do perfil do solo, mas com raízes de diferentes tipos (Figura 3).

Figura 3 - Sistema radicular de uma planta estabelecida, mostrando três tipos de raízes funcionais: superficiais, de fixação e raízes-cordão (BLACKBURN, 1984 apud BEAUCLAIR & SCARPARI, 2007)

As primeiras são raízes superficiais, localizadas nos primeiros 30 a 40 cm do perfil do solo, são bem ramificadas e extremamente absorventes. Outro tipo são as raízes de fixação, que atingem profundidades maiores, ultrapassando facilmente 50 cm, entretanto, ao contrário do que sugere o nome, a função dessas não se restringe exclusivamente à fixação, pois podem perfeitamente absorver água e nutrientes, apesar de fazê-lo com menor eficiência do que as raízes superficiais. O terceiro são as raízes-cordão, formadas a partir de aglomerações de raízes verticais. Atingem profundidades superiores a 5 m do perfil do solo, fornecendo acesso a reservas profundas de água no solo, principalmente em períodos de grande estiagem (MAURI, 2012).

As raízes-cordão podem crescer tanto no período de estabelecimento da cultura como em soqueira. Geralmente ocorrem em períodos de elevado desenvolvimento ou de restabelecimento do sistema radicular, principalmente após o final do período de estresse hídrico, com a retomada das chuvas e o aumento da temperatura do solo, que proporcionam condições para o crescimento rápido e vigoroso das raízes (VASCONCELOS & CASAGRANDE, 2010).

2.1.4 Variedades de cana-de-açúcar

Atualmente o Brasil conta com quatro programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, disponibilizando as atuais e futuras variedades para cultivo dos canaviais e possibilitando os melhores manejos varietais, de acordo com tipo de solo, clima e escalonamento de colheita, para as usinas, produtores e fornecedores de cana-de-açúcar, sendo os seguintes centros de pesquisa: Canavialis (variedades CV); Centro de Tecnologia Canavieira (variedades CTC, antiga Copersucar – variedades SP); Instituto Agrônomo de Campinas (variedades IAC); e Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA (variedade RB).

As variedades de cana-de-açúcar são consideradas como sendo uma das colunas mestres da produção de matéria-prima de qualidade e do crescimento sustentável do setor sucroenergético, pois visa basicamente à seleção de variedades resistentes a doenças, pragas e ambientes com déficit hídrico. Assim sendo, o melhoramento é a área que contribuiu significativamente para este avanço. Nestas últimas três décadas foi marcante a contribuição desta tecnologia, pois permitiu, pelo emprego de variedades geneticamente melhoradas, obter acréscimo de mais de 30% em produtividade agrícola e marcante evolução da qualidade da matéria-prima (ALONSO, 2009).

Silva et al. (2008) avaliando o desempenho de várias variedades de cana-de-açúcar sob condições de déficit hídrico concluiu que não há efeito do regime de estresse hídrico durante a fase de crescimento inicial em diâmetro do colmo e sólidos solúveis, porém o número de perfilhos e altura do colmo são influenciadas por condições de estresse hídrico durante a fase de crescimento inicial. De acordo com Landell e Silva (2004), os atributos decisivos para obter o potencial em produção agrícola de uma variedade de cana-de-açúcar são: altura de colmos, número de colmos e diâmetro de caule. A maioria dos estudos sobre características agrônomicas em diferentes regimes hídricos, no entanto, foram realizados com genótipos específicos.

Segundo censo varietal realizado pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 2014), com informações levantadas de 264 produtores de cana-de-açúcar, totalizando aproximadamente 6,3 milhões de hectares, os produtores da região centro sul estão expandindo o plantio das cultivares geradas pelo programa de variedades do CTC. O incremento na área, na safra 2012/13 em relação à safra anterior, foi de 60%, tendo como destaques as variedades: CTC15, CTC2, CTC9 e CTC4.

A variedade CTC20, escolhida para esse estudo, está se destacando entre as variedades geradas pelo programa de melhoramento genético do CTC, por apresentar produtividade muito alta em cana planta e soqueira, alta riqueza e teor de açúcar total recuperável (ATR), excelente brotação de soqueira e fechamento das entrelinhas, alto perfilhamento, crescimento com pouco tombamento, médio florescimento, baixo índice de isoporização, desenvolvimento vigoroso, hábito de crescimento levemente decumbente, com despalha média a difícil, entrenós de comprimento médio, curvados e com zigue-zague nítido, gemas retangulares, folhas com pontas curvadas de tonalidade clara, aurículas assimétricas e palmito de tamanho curto. Essa variedade não apresenta sensibilidade a herbicidas é resistente às principais doenças (ferrugem, carvão e escaldadura) e com resistência intermediária para reação as brocas dos colmos. Recomendada para plantio em ambientes de médio para bom potencial e época de colheita de meio para final de safra, ou seja, de junho a novembro (CTC, 2014).

2.1.5 Formação de viveiros de mudas de cana-de-açúcar

A densidade de plantio de um viveiro de mudas de cana-de-açúcar é semelhante e na maioria das vezes idêntica a de um plantio convencional, devido ao intuito de se obter o maior número de colmos por metro e consequentemente maior número de gemas viáveis por metro. Os colmos podem ser utilizados para plantio direto no solo ou pode ser feita a extração das gemas para serem utilizadas no processo de produção de mudas sadias e mudas pré-brotadas. Segundo Sanguino (2007), podem ser executadas em uma propriedade três categorias de viveiros de cana-de-açúcar, porém para os dias atuais pode-se ampliar para quatro categorias de viveiros de cana-de-açúcar, com sua denominação dependendo do estágio da multiplicação, origem do material e da parte vegetativa utilizadas para propagação da cana-de-açúcar. Seguem algumas definições:

Casa de vegetação: são viveiros onde é realizado o processo de extração e tratamento químico das gemas, plantio das gemas em tubete e/ou bandejas conduzidas em estufas aclimatadas por aproximadamente 60 dias para a formação de mudas pré-brotadas.

Viveiros pré-primários ou básicos: são formados em área de aproximadamente 10 ha, com mudas convencionais (colmos) ou mudas pré-brotadas provenientes de empresas e centros de pesquisas.

Viveiros primários: são áreas resultantes da multiplicação das canas dos viveiros pré-primários. Normalmente se apresentam de 10 a 15 vezes maiores que as áreas dos pré-

primários, também deve ser incluída nesta categoria a primeira soca dos viveiros pré-primários.

Viveiros secundários: são áreas resultantes da multiplicação das canas dos viveiros primários e só serão multiplicadas caso as áreas dos primários sejam insuficientes para atender as necessidades de mudas. As áreas de viveiro secundário podem ser de 10 a 15 vezes maiores que a área do primário. Também é incluída nesta categoria a primeira soca dos viveiros primários.

Segundo Segato et al. (2006), a lavoura canavieira provavelmente utiliza, dentre as demais culturas, o maior peso de material botânico de plantio por unidade de área, sendo de 8 a 12 t ha⁻¹. A cana-de-açúcar, por ser também de reprodução assexuada, é geralmente portadora de problemas fitossanitários diversos, inclusive e, sobretudo, de doenças sistêmicas cujo controle requer adequado preparo de viveiros para a sua produção em condições de elevada taxa de sanidade, além de assegurar a indispensável autenticidade varietal. Nesse sentido, é importante a realização de um eficiente planejamento de instalação de viveiros, de forma a atender a demanda das áreas comerciais localizadas em diversos ambientes de produção, otimizando assim a produção de mudas de variedades que possam expressar maior potencialidade de produtividade de colmos e sacarose (SEGATO et al., 2006).

Nos programas de melhoramento são selecionadas as variedades, tendo como base algumas características necessárias ao seu bom desempenho quando for cultivada comercialmente. Dentre as características mais importantes, está a resistência às principais doenças prevalentes na região, pois, em culturas extensivas, o método mais econômico de controle de doenças consiste em incorporar a resistência genética à variedade a ser utilizada (SANGUINO, 2007). Também se pode destacar as características genéticas de precocidade, teor de açúcar, produtividade agrícola, rusticidade e adaptação para cultivo em ambientes de produção não favoráveis como características desejáveis nas variedades comercialmente cultivadas. Segundo Sanguino (2007), somente a origem idônea das mudas pode garantir um viveiro sadio, e fornecer mudas para o plantio comercial com a qualidade necessária. A utilização de canaviais comerciais como fonte de mudas, pode propagar doenças como o carvão, a escaldadura, o mosaico e o raquitismo, diminuindo a vida útil dos canaviais, com prejuízos imprevisíveis.

Logicamente, como a formação de viveiros de mudas tem como principal objetivo o controle das doenças nas canas, e, quando instalados nos campos, estes viveiros estão sujeitos a reinfecções, é necessário adotar padrões máximos para a ocorrência dessas doenças, de maneira a não comprometer as futuras multiplicações das canas. Para o mosaico, a

escaldadura e o carvão, que são as principais doenças que podem comprometer a utilização de uma área de viveiro, os padrões levam em consideração as ocorrências das doenças registradas durante as operações de “*roguing*” (SANGUINO, 2007).

2.1.6 Adubação da cana-de-açúcar

A amostragem de solo para recomendação de adubação é a primeira etapa de uma avaliação dos teores de nutrientes disponíveis. Cada amostra composta deve representar uma área homogênea, uniforme quanto a cor, ao tipo de solo, relevo e manejo. Uma amostra deve ser constituída de, no mínimo, 15 subamostras nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, independentemente do tamanho da área, podendo a chegar até 50 ha. De preferência, as amostras devem ser coletadas nas entrelinhas de cana próximas das soqueiras, onde não se aplicou adubo (PENATTI, 2013).

De acordo com Penatti (2013) a adubação recomendada pelo CTC segue tabelas de recomendação para a cana planta e cana soca (Tabelas 1 e 2), baseadas em análises químicas de solo e resultados de experimentos de campo, assim como a margem de contribuição agroindustrial (R\$ ha⁻¹). Fatores como compactação do solo, estreitamentos entre os espaços das argilas do solo, que interfere diretamente no crescimento do sistema radicular, prejudicam a absorção de água e dos nutrientes e, conseqüentemente, reduzem a produtividade da cana.

Tabela 1 - Quantidade de nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) recomendados para a cana planta (Fonte: Penatti, 2013)

P do Solo mg kg ⁻¹	K trocável do solo - mmol _c dm ⁻³				
	< 0,8	0,9 - 1,5	1,6 - 2,6	2,7 - 5,2	> 5,2
	N P ₂ O ₅ K ₂ O - kg ha ⁻¹				
0-6	60-120-140	60-120-110	60-120-80	60-120-50	60-120-0
7-15	60-100-140	60-100-110	60-100-80	60-100-50	60-100-0
16-40	60-80-140	60-80-110	60-80-80	60-80-50	60-80-0
>40	60-60-140	60-60-110	60-60-80	60-60-50	60-60-0

Tabela 2 - Quantidade de nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) recomendados para a cana soca (Fonte: Penatti, 2013)

K trocável do solo mmol _c dm ⁻³	N P ₂ O ₅ K ₂ O kg ha ⁻¹
< 0,6	100-00-130
0,7-1,2	100-00-100
1,3-2,1	100-00-70
2,2-4,2	100-00-40
>4,2	100-00-00

Quando: P < ou = 15 mg kg⁻¹, aplicar 30 kg de P₂O₅ ha⁻¹

P > 15 mg kg⁻¹, não aplicar fósforo

2.1.7 Plantio de cana-de-açúcar

Na instalação de um canavial devem ser considerados todos os preceitos de boas técnicas agronômicas, tais como: um bom preparo de solo, mudas de qualidade superior, sadias e bem manipuladas, tratamento fitossanitário do solo e das mudas, adubação, etc. No entanto, a massa de colmos produzida no canavial representa uma quantidade tão grande de material que sua manipulação torna muito difícil à contagem pontual de produtividade, da forma como se faz com grãos e outras commodities (RIPOLI & RIPOLI, 2007).

Segundo Ripoli & Ripoli (2007), quando se discute plantio de cana-de-açúcar, a retórica deveria ser voltada para o desenvolvimento tecnológico em busca da produtividade do canavial e no desenvolvimento urgente de técnicas que permitam identificar pontos onde há problemas com a capacidade de produção e não, apenas, na redução de custos de implantação. Reduzir custos é fundamental, mas produtividade agrícola é um componente básico nessa redução. E o que se encontra na atual bibliografia e nos encontros técnicos sobre o assunto é uma busca desenfreada por eficiência na operação de plantio sem que se observem ganhos sensíveis de produtividade.

A produtividade da cana-de-açúcar é regulada por diversos fatores de produção, dentre os quais se destacam: planta (variedade), solo (propriedade química, física e biológica), clima (umidade relativa do ar, temperatura, insolação), práticas culturais (controle da erosão, plantio, erradicação de plantas invasoras, descompactação do solo), controle de pragas e doença, colheita (maturação, corte, carregamento e transporte), entre outros (ORLANDO FILHO et al., 1994).

Uma das características de maior importância para ter uma boa produtividade final e um bom estande de mudas, está relacionado com as práticas de plantio, levando em consideração, fatores indispensáveis para a otimização da cultura como escolha da área e variedade, sanidade das mudas, época de plantio, preparo do solo, profundidade de plantio, cobertura dos rebolos e distribuição de gemas no sulco (SILVA, 2003).

Segundo Quintela et al. (1997), um canavial implantado sem os conhecimentos básicos de plantio, poderá ter sua longevidade reduzida, determinando como consequência a elevação dos custos de produção. Quintela (1996), afirma que a cana-de-açúcar está entre plantas propagadas vegetativamente, portanto, conhecer o processo de brotação, bem como dos fenômenos que o interferem, reveste-se de grande importância e é um dos pilares para o sucesso da cultura, pelo fato do canavial ser explorado por um período médio de cinco anos.

2.1.8 Multiplicação da cana-de-açúcar

A multiplicação de cana-de-açúcar, devido ao fenômeno da dominância apical, é normalmente feita por meio de toletes, que são pedaços de colmos contendo duas ou três gemas no estado latente, que encontrando condições favoráveis, passam ao estado ativo de crescimento e desenvolvimento, devido às mudanças das reservas nutritivas pela atividade de enzimas e reguladores de crescimento (Van Dillewijn, 1952). O processo de brotação das gemas nos toletes de cana-de-açúcar depende de fatores endógenos e exógenos descritos entre outros por Van Dillewijn (1952), Humbert (1968) e Fauconnier & Bassereau (1975).

O sistema de fabricação de mudas pré-brotada de cana AgMusaTM – Agricultura de mudas saudáveis de cana-de-açúcar é um processo de alta tecnologia para multiplicação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar saudáveis, originárias de variedades nobres e mais produtivas, que garante a homogeneidade genética, contribui para a produção rápida de mudas, associando elevado padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio na formação de viveiros primários, principalmente quando associado à irrigação. Dentre as principais vantagens do sistema estão o menor volume de mudas transportadas e utilizadas no plantio e o grande salto na qualidade fitossanitária das mudas (agro.basf.com, 2015).

O ciclo de produção da AgMusaTM se divide em 4 etapas: A primeira etapa para o desenvolvimento de mudas saudáveis é a obtenção e multiplicação de variedades em viveiros controlados, com práticas adequadas de manejo que garantam sua identidade genética, rastreabilidade e sanidade. Segunda etapa a muda passa por um processo industrial de multiplicação mediante a extração e brotação de sua gema e recebe tratamento exclusivo para se adaptar às condições reais de plantio. Terceira etapa as mudas brotadas são retiradas das casas de vegetação e seguem para o transplante em campo sob orientação e acompanhamento técnico, com um equipamento específico (plantadora mecânica de mudas de cana) que confere um plantio de alta qualidade e pegamento. Quarta etapa com o manejo correto, o produtor passa a contar com mudas para formação de um canavial de alto potencial de produtividade (agro.basf.com, 2015).

Outro grande benefício está na redução da quantidade de mudas que vão a campo. Para o plantio de um hectare de cana-de-açúcar, o consumo de mudas é reduzido de 18 a 20 toneladas, no plantio convencional, para 2 toneladas no plantio de mudas pré-brotadas. Isso significa que aproximadamente 18 toneladas que seriam enterradas como mudas irão para a indústria produzir álcool e açúcar, gerando ganhos diretos e indiretos para a cadeia produtiva canavieira (GOMES, 2013).

O IAC – Instituto Agrônômico de Campinas classifica a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em sete etapas, conforme descrição a seguir: Etapa 1: corte do minirrebolo, que consiste em fragmentar a cana no nó, nos quais estão as gemas; etapa 2: tratamento dos minirrebolos, após o corte, é feita uma seleção visual para garantir que todos os minirrebolos estejam com as gemas saudáveis. Em seguida eles recebem um banho térmico e são tratados com fungicida; etapa 3: caixa de brotação, nessa etapa os minirrebolos são colocados em caixas de brotação com um substrato próprio para a produção de mudas e levados à estufa com temperatura e umidade controlada; etapa 4: individualização ou repicagem, depois de 12 dias na estufa, as gemas são individualizadas e cada uma é colocada em tubete próprio; etapa 5: aclimação, a primeira fase de aclimação, que dura cerca de 15 dias, período pelo qual a muda volta para a estufa e as raízes se desenvolvem; etapa 6: rustificação, ou seja, aclimação a pleno sol, quando a muda é exposta às condições do ambiente que será cultivada, com irrigação reduzida e realização de podas; etapa 7: muda pré-brotada, ao final de 60 dias, período do ciclo completo, a muda é retirada do tubete e está pronta para ser plantada (novacana.com, 2014).

Segundo Segato et al. (2006), além dos cuidados normais de plantio para a condução de um viveiro, ou seja, bom preparo de solo e adequada adubação no plantio, outras práticas devem ser adotadas nas áreas de viveiro, com a irrigação complementar, adubações de cobertura (nitrogênio e potássio), controle de plantas daninhas, operação de "roguing" e cuidados no corte das mudas.

2.1.9 Irrigação e deficiência hídrica em cana-de-açúcar

Para manter índices de produção satisfatórios, esta cultura necessita de um período quente e úmido, com intensa radiação solar durante o estágio vegetativo, seguido de um período seco na fase de maturação e colheita (ALFONSI et al., 1987). Períodos de deficiência hídrica afetam o desenvolvimento celular principalmente nas fases de brotação, perfilhamento e alongamento dos colmos, por serem fases de maior exigência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar, interferindo no rendimento em produtividade.

Matioli (1998) e Frizzone et al. (2001) relatam que, nas principais regiões canavieiras paulistas, existe uma “saturação” de canaviais, que obriga as usinas e destilarias a contratarem arrendamentos de fazendas distantes, dessa forma aumentando o raio médio de transporte e consequentemente o custo de produção, muitas vezes com solos de baixa fertilidade, para

atender à capacidade de produção instalada e às ampliações industriais almejadas, sendo que esse panorama continua idêntico para os dias atuais.

Maule et al. (2001) verificaram que a produção da cana-de-açúcar foi negativamente influenciada pela deficiência hídrica do solo, apresentando variações na produtividade. Nas regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar tem-se observado, nos últimos anos, alterações na distribuição pluviométrica, com consequente aumento de “veranicos”, que causam maiores prejuízos quando ocorrem no estágio vegetativo da planta (DIAS, 1999).

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo o principal responsável pela redução das produtividades agrícolas (PIMENTEL, 2004). Como qualquer outro cultivo agrícola, a cultura da cana-de-açúcar tem sua produção diretamente influenciada pelos estresses ambientais, os quais podem ser passíveis ou não de manejo (MAULE et al., 2001).

Barbosa (2010), concluiu que os mecanismos efetivos de resistência à seca pela cultura da cana-de-açúcar deverão estar mais correlacionados com a capacidade das plantas de evitar a perda de água excessiva para a atmosfera (regulação estomatal, resistência ao fluxo no xilema, contração radicular, etc.) ou de exploração mais efetiva da água disponível no solo (aprofundamento radicular), de modo a “evitarem” a seca e não necessariamente “resistirem” a ela. Esse mesmo autor relata que para as variedades estudadas RB867515 e SP81-3250 a resistência à seca da cultura canavieira pode ser prevista com boa precisão, com base na disponibilidade hídrica no solo (zona radicular efetiva) e na evapotranspiração potencial de referência acumulada durante a imposição de um período de estresse hídrico contínuo.

Segundo Costa (2011) um dos grandes entraves à expansão do setor sucroenergético para a região do Brasil Central diz respeito às restrições climáticas. Mais especificamente, às altas temperaturas durante grande parte do ano e à elevada radiação solar, associadas à má distribuição de chuvas, o que provoca efeito de secas prolongadas e que tornam em geral este ambiente bastante restritivo à produção de cana-de-açúcar. Principalmente para condições de plantio de inverno e para o canavial colhido no final de safra. Essa condição sugere que a sobrevivência do negócio passará pela irrigação, e o assunto necessariamente precisa entrar na pauta para discussão, com planejamento para avaliação de posterior investimento em infraestrutura de irrigação na lavoura.

Segundo Mاتيoli (1998) praticamente, toda a cana produzida no Estado de São Paulo é cultivada em condições de sequeiro, isto é, sem o emprego da técnica de irrigação. A tradição do cultivo de cana de sequeiro é alicerçada no paradigma de que a irrigação em cana-de-açúcar é economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo.

O setor sucroalcooleiro passa pela dificuldade que ainda é pequena o número de variedades que respondem à irrigação, mesmo dentre a gama de variedades desenvolvidas e selecionadas nos programas de melhoramento genético. Visto que a irrigação é uma ferramenta agrícola para obter rapidamente e expressivamente ganho de produtividade em curto prazo, ou seja, de uma safra para outra.

De acordo com Frizzone et al. (2001), a irrigação suplementar consiste em suprir parcialmente a deficiência hídrica da soqueira e/ou cana planta nos primeiros estágios de desenvolvimento, sendo, na fase inicial do desenvolvimento da cultura, que se observam as maiores perdas de produtividade devido ao estresse por falta de água. Para amenizar essas perdas, a irrigação suplementar é iniciada logo após o corte e interrompida no fim do primeiro estágio de desenvolvimento da soqueira.

Como em algumas regiões do centro oeste paulista prevalecem baixas precipitações ao longo de vários meses, durante o ciclo da cultura, torna-se essencial a utilização de novas técnicas de propagação e multiplicação dos canaviais por meio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, associado com a utilização da irrigação suplementar, complementar ou de salvamento, para a melhoria do cultivo e maior sanidade dos canaviais, maior brotação na soqueira, homogeneidade de plantio, perfilhamento e fechamento de linhas. A prática de irrigação em plantio de inverno e cana de ciclo tardio de maturação para ganho de produtividade nas áreas colhidas no final de safra apresenta um bom potencial de lucratividade que precisa ser explorado pelos produtores de cana-de-açúcar.

Rosenfeld (1989) estudando o período de deficiência hídrica para cana planta, concluiu que o início do estágio de máximo desenvolvimento da cana planta é o período mais sensível a déficit hídrico. Para a cana-de-açúcar plantada em fevereiro e junho, o período mais crítico é do 4º ao 11º mês, já para a cana plantada em outubro, o período mais crítico é do 8º ao 11º mês. As maiores reduções de produção são provocadas por períodos secos durante o verão em canas com idade de 4 a 8 meses, assim como o período de seca para o crescimento da cana planta.

Inman-Bamber e Smith (2005) relatam que as folhas tendem a se acumular no cartucho durante período de estresse hídrico e boa parte dessas folhas retoma novamente o crescimento quando passado o período de estresse. Porém, para a cana-de-açúcar, com o agravante do déficit hídrico, as reações bioquímicas da fotossíntese podem ser afetadas, o que acarreta limitações de origem não estomática, em condição de déficit máximo (CORNIC et al., 1992).

São poucas as pesquisas na literatura que descrevem o desenvolvimento e estabelecimento de mudas pré-brotadas quando submetidas a diferentes lâminas de irrigação ou quando em condições de déficit hídrico máximo, sendo que neste caso podem ocorrer até falhas no dossel da cultura pela morte das plantas. Smit e Singels (2006) exigem maior número de pesquisas, afirmando que o desenvolvimento do dossel afetado pelo estresse hídrico é um aspecto de crescimento e desenvolvimento da cana que ainda não foi exaustivamente investigado. A formação do dossel da cultura desempenha papel importante em seu rendimento, interceptando a radiação solar, influenciando nos processos fotossintéticos e de transpiração da cultura, além de evitar o aparecimento de ervas daninhas, sendo, portanto, fator crucial na determinação do rendimento final da cultura.

A irrigação de salvamento no plantio da cana de inverno (com mudas tradicionais ou com mudas pré-brotadas) visa garantir o pegamento, estabelecimento e desenvolvimento de mudas de cana planta, evitando assim prejuízos com eventuais perdas do referido plantio/reforma, falhas e consequente diminuição na longevidade dos canaviais ocasionados por deficiências hídricas na fase de brotação. De acordo com Mاتيoli (1998), os benefícios da irrigação na cultura da cana-de-açúcar se dividem em benefícios diretos e benefícios indiretos. Os benefícios diretos consistem nos aumentos de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com a redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade.

No Estado de São Paulo, o cultivo de cana-de-açúcar é praticamente sem uso de irrigação, com meras exceções como a fertirrigação que utiliza vinhaça como fonte de potássio. Atualmente existe um paradigma de que não se têm recursos hídricos suficientes para este fim, em alguns casos, tornando inviável esta prática pelo alto custo de implantação e manutenção de um projeto de irrigação ou por indisponibilidade hídrica da região. Essa situação poderia ser diferente se houvesse um incentivo para construir barramentos armazenadores de água, visto que temos um excedente hídrico na época das chuvas (verão) suficiente para garantir uma reserva hídrica para irrigação de inverno, porém a dificuldade e burocracia necessária para licenciar ambientalmente essa “mini barragem” é um problema que os produtores enfrentam que muitas vezes inviabiliza o projeto.

Esse cenário pode ainda piorar quando parte dos canaviais irrigados estão sendo conduzidos sem um manejo correto em áreas inadequadas com baixo potencial produtivo, de baixa fertilidade, com uso de cultivares não responsivas à irrigação, o que limita o crescimento vertical da cultura, elevando o custo dessa tecnologia (OLIVEIRA et al., 2010).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Caracterização da área experimental

2.2.1.1 Local do experimento

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Santana, área de arrendamento de uma conceituada usina canavieira da região - 22° 36' 40" de latitude sul e 47° 37' 28" de longitude oeste, com 583 m de altitude (Figura 4A e 4B) , situada na região canavieira do município de Piracicaba, SP. A fazenda tem um histórico de cultivo de cana-de-açúcar, porém o talhão utilizado para o experimento foi classificado pelo banco de dados da usina como sendo uma área de descanso, ou seja, local que não houve plantio por no mínimo um ano safra.

As atividades foram conduzidas em 3 etapas distintas: 1) Instalação do experimento; 2) Manejo da irrigação; e 3) Acompanhamento biométrico.

Figura 4 - Localização da área experimental (A) e layout da área experimental (Fazenda Santana) com ponto de captação d'água e caminhamento da tubulação (B)

2.2.1.2 Clima

O clima da região é do tipo Cwa no sistema Koppen, denominado subtropical úmido, com estiagem no inverno, temperatura média no mês mais frio de 18°C e no mês mais quente de 22°C, temperatura média anual de 21,4°C e pluviosidade média anual de 1257 mm de acordo com as normais climatológicas.

Os dados climáticos referentes ao período do experimento, ou seja, janeiro/2014 a dezembro/2014 foram obtidos pela estação meteorológica automática da usina Costa Pinto, cuja localização está a 6,0 km de distância da área experimental. Porém, para maior confiabilidade na informação e para garantir que não houve incidência de chuvas localizadas na área experimental, os dados de precipitação utilizados foram confrontados com um pluviômetro instalado no local do experimento. Notou-se que não houve diferença nos valores

de precipitação e dessa forma todos os valores de chuva utilizados para composição de dados climáticos foram baseados nas informações obtidas pela estação meteorológica situada na usina Costa Pinto, por maior confiabilidade. As Figuras 5A, 5B e 5C mostram os valores médios respectivamente de temperatura do ar, radiação global, precipitação, evapotranspiração potencial, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Figura 5 - Valores médios mensais registrados durante a condução do experimento (janeiro de 2014 a dezembro de 2014): temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) e radiação global (MJ m^{-2}) (A), precipitação (mm) e evapotranspiração potencial (mm) (B), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m s^{-1}) (C)

Os valores de evapotranspiração de referência diária (ET_o) foram obtidos pelo método de Penman-Monteith (eq. 1).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que:

- ET_o = evapotranspiração de referência diária, mm dia⁻¹;
- R_n = saldo de radiação, MJ m⁻² d⁻¹;
- G = densidade e fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;
- T = temperatura média diária, °C;
- U₂ = velocidade média do vento média a 2 m, m s⁻¹;
- γ = constante psicrométrica, kPa °C⁻¹; e
- (e_s - e_a) = déficit de pressão de vapor de ar para altura de referência média, kPa.

O balanço hídrico diário foi calculado utilizando-se o software Bhseq.xls, desenvolvido em ambiente EXCELTM (Rolim et al., 1998), o qual apresenta uma planilha para cálculo do balanço hídrico sequencial diário pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), que considera a variação do armazenamento de água no solo é uma função exponencial que envolve a capacidade de água disponível (CAD) (em função da profundidade de exploração efetiva de 20 cm das raízes de mudas pré-brotadas e características físicas do solo), cuja metodologia foi aplicada para todos os tratamentos, dessa forma, pôde-se verificar qual foi o comportamento do balanço hídrico para cada tratamento.

2.2.2 Instalação do experimento

2.2.2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em uma área experimental de 3.806,4 m² (104 metros de comprimento e 36,6 metros de largura), dividido em 15 parcelas com 4 repetições por tratamento. A área total de cada parcela foi de 192 m² (20 metros de comprimento e 9,6 de largura), contendo 8 linhas de plantio no espaçamento de 1,5 x 0,9 m, sendo que as 2 linhas superiores e as 2 linhas inferiores foram consideradas como bordaduras. Para a coleta de dados não destrutivos foram utilizadas somente as 4 linhas centrais (4,8 metros) e desconsiderando 2 metros de cada lado da parcela com o comprimento útil de 16 metros de linha de plantio, totalizando uma área útil de 76,8 m² (Figura 6). A área de coleta de dados foi

o local onde houve a menor interferência do efeito bordadura e a mesma foi suficiente para mitigar o efeito da deriva entre tratamentos.

Figura 6 - Croqui da parcela demonstrando área de coleta dos dados, bordadura para mitigar os efeitos da deriva e espaçamento entre aspersores de 10 m x 9,6 m

2.2.2.2 Solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico de Textura Argilosa segundo o Sistema de Brasileira de Classificação de Solos da (EMBRAPA, 2006). Pela Figura 7 podem ser conferidos os diferentes tipos de solo da fazenda e da área experimental.

Figura 7 - Mapa da Classificação de solos da Fazenda Santana (Fonte: Usina Costa Pinto)

2.2.2.3 Análise físico-química do solo

Antes do plantio, foram coletadas 15 subamostras de solo nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm para gerar 1 amostra composta de solo e representar área total do experimento para o procedimento das análises químicas e físicas, sendo as análises químicas determinadas junto ao Laboratório da Usina Costa Pinto e as análises físicas do solo, realizadas no Laboratório de Física de Solos do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP (Tabelas 3 e 4). A partir dessas análises de solo realizadas no início do experimento, pôde-se auxiliar no manejo da irrigação e nos cálculos para adubação e correção do solo.

Tabela 3 - Análise química do Latossolo Vermelho - Amarelo (Fonte: Usina Costa Pinto)

Camada	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
Cm	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							%
0 – 25	5,2	51,8	24,1	2,5	36,3	13,8	1,7	37,9	52,6	90,5	57,7
25 – 50	5,0	18,7	14,2	1,3	28,2	11,1	2,1	40,9	40,6	81,6	49,2

Para a obtenção dos parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980) (eq.2), os quais descrevem as curvas de retenção de água no solo para as camadas de 0 a 25 cm e de 25 a 50 cm, foi utilizado o software RETC (van Genuchten et al., 1991) (Tabela 4). A partir desses dados foi possível a obtenção dos pontos de capacidade de campo (1/3 atm) e ponto de murcha permanente (15 atm), bem como, a obtenção da capacidade de água disponível (eq. 3) (Tabela 5).

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

em que:

θ = umidade volumétrica, em equilíbrio com o potencial mátrico, cm³.cm⁻³;

θ_s = umidade volumétrica do solo saturado, cm³.cm⁻³;

θ_r = umidade volumétrica residual, cm³.cm⁻³;

m, n = parâmetros de ajuste; adimensional;

α = parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, cm⁻¹; e

ϕ_m = potencial mátrico, cm.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros do modelo de van Genuchten (1980) do solo nas camadas de 0 a 25 cm e 25 a 50 cm de profundidade

Camada (cm)	Ds	θ_s (cm³ cm⁻³)	θ_r (cm³ cm⁻³)	α (cm⁻¹)	m	n
0 - 25	1,44	0,50	0,29	0,2446	0,203	1,255
25 - 50	1,41	0,49	0,26	0,2359	0,169	1,203

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{PMP}) \cdot \Delta z \cdot 10 \quad (3)$$

em que:

CAD = capacidade de água disponível, mm;

θ_{cc} = umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, cm³ cm⁻³;

θ_{PMP} = umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente, cm³ cm⁻³;

Δz = variação da profundidade analisada, mm;

Tabela 5 – Análise físico-hídrica, granulométrica e hídrica do Latossolo Vermelho – Amarelo

Camada	Argila	Silte	Areia	Densidade do solo	Capacidade de campo	Ponto de murcha permanente	Capacidade de água disponível
cm	%			g cm⁻³	cm³ cm⁻³		mm
0 – 25	51,94	12,28	35,78	1,44	0,35	0,31	10,0
25 – 50	56,13	12,43	31,44	1,41	0,35	0,3	12,5

Os teores de argila, silte e areia foram importantes para se definir a classe textural do solo e muitas vezes influenciam na coloração. Nesse caso, o solo apresentou coloração avermelhada, muito típica de solos tropicais bem drenados.

Esses fatores são de extrema importância para mostrar se há possibilidade de erosão ou se a água terá maior estabilidade na superfície, hipoxia ou se a água irá percolar rapidamente pelo perfil. O solo da área experimental na pesquisa apresentou drenagem moderadamente boa, escoamento superficial moderadamente baixo e 12% de declividade. Esses dados garantem que não há riscos de erosão, não haverá hipoxia das raízes e nem perdas significativas de nutrientes na percolação.

Solos poucos profundos e que apresentem horizonte principal que dificultem o crescimento das raízes das plantas são problemáticos, pois podem interferir na produção final e prejudicar o desenvolvimento de pesquisas e trabalhos. No caso da pesquisa o solo apresenta profundidade propícia ao desenvolvimento da cana-de-açúcar e seu horizonte principal é o B latossólico, com altos teores de argila, bastante espesso e bem drenado. Esses teores estão

relacionados com a presença de matéria orgânica no solo o que pode auxiliar no aumento da capacidade de troca catiônica e retenção de nutrientes.

A CTC (capacidade de troca catiônica) é um parâmetro importante, pois indica o quanto que o solo pode armazenar de íons em suas cargas negativas. São nessas cargas negativas que ficam locados os nutrientes da planta ou íons de hidrogênio (H^+) e Alumínio (Al^{+3}). Os principais cátions nutrientes são os de Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{+2}) e Magnésio (Mg^{+2}).

Já o pH indica a quantidade de íons H^+ presentes no solo. No solo da área experimental o valor do pH foi de 5,2 para a camada de 0 a 25 cm e de 5,0 para a camada de 25 a 50 cm, valor ideal para a cultivar cana-de-açúcar.

Foi feito teste de velocidade de infiltração básica (VIB) após o preparo do solo e seguindo a metodologia de BERNARDO, et al. (2008), utilizando-se para tal o método do infiltrômetro de anel, que consiste em dois anéis, colocados concêntricamente (Figura 8A e 8B), sendo o menor com diâmetro de 20 cm e o maior com 40 cm, e altura de 15 cm. As características desse método são: simplicidade, prático, de fácil execução e alta confiabilidade.

O teste foi realizado com o auxílio de um plástico para iniciar a leitura com uma régua, assim acompanhou-se a infiltração vertical no cilindro interno, em intervalos de tempo iniciados a cinco minutos. Observando-se em um cronômetro simultaneamente, esse tempo foi aumentando, sendo variável com o tempo de infiltração do volume de água no solo. Nos dois cilindros, foi mantida a altura máxima de lâmina de água de aproximadamente 12 cm, permitindo oscilação máxima de 8 cm. Assim, as leituras foram realizadas nos seguintes intervalos de tempos de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210 minutos e finalizando as medições em 240 minutos após o início do teste.

Figura 8 – Início da análise da infiltração de água no solo (A) e final da análise (B)

A velocidade de infiltração básica (VIB) obtida para o Latossolo Vermelho - Amarelo da área experimental alcançou um valor de $12,6 \text{ cm h}^{-1}$ tendendo a ser constante, considerando a curva de velocidade de infiltração básica (VIB) do referido solo. Esse valor permite classificá-lo em um solo de VIB muito alta de acordo com a classificação de (BERNARDO et al., 2008) que consideram a VIB muito alta quando é maior que 3 cm h^{-1} . Esta VIB pode ser favorecida pelas excelentes características de drenagem do solo, as quais, com alta permeabilidade à água, proporcionam o seu uso com grande amplitude de umidade (Figura 9).

Figura 9 - Curva de Infiltração acumulada (cm) e Velocidade de Infiltração Básica (cm h^{-1})

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para serem definidas as técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo. Sendo que é um fator importante na irrigação, pois orienta no tempo em que se deve manter a água na superfície do solo, ou seja, duração da aspersão, buscando a aplicação de uma quantidade desejada de água sem perdas por percolação e/ou escoamento superficial.

2.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi feito em blocos casualizados, com 5 tratamentos, 4 repetições e 3 blocos. Os tratamentos estão descritos na Tabela 6, sendo que a lâmina total de irrigação (h) e o turno de rega fixo (TR) após plantio foi baseado em função do manejo da irrigação via clima, com lâmina média de $1,5 \text{ mm dia}^{-1}$; $3,1 \text{ mm dia}^{-1}$; $4,6 \text{ mm dia}^{-1}$; $6,2 \text{ mm}$

dia⁻¹ respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. O consumo diário de água pela cana-de-açúcar, nas principais regiões produtoras do país, depende da variedade, do estágio de desenvolvimento da cultura e da demanda evapotranspirométrica em função do mês e da região (variação temporal e espacial) em geral, e tem variado de 2 a 6 mm dia⁻¹. A cultura necessita de 250 g de água para formar 1 g de matéria seca (BERNARDO, 2008).

De acordo com Fernandes (1990), a cana-de-açúcar consome, em média, 5 mm de água por dia, sendo que no período de estiagem consome cerca de 3 mm dia⁻¹ e durante as chuvas a 9 mm dia⁻¹. Mesmo que chova o mínimo necessário para a cultura, que é de 1.200 mm ano⁻¹, a distribuição na região canavieira dessa chuva é irregular, podendo haver épocas de deficiência hídrica e, até mesmo, a ocorrência de veranico.

Posteriormente, os tratamentos foram analisados em função do balanço hídrico, evapotranspiração, excedente e déficit hídrico no solo, sendo que as eventuais chuvas que ocorreram no período de análise dos dados (206 DAP) foram consideradas no balanço hídrico de cada tratamento.

Tabela 6 - Descrição dos tratamentos, lâminas de irrigação (h) utilizadas e turno de rega (TR) adotados

Tratamento	Descrição	Lâmina total de Irrigação (h)	Turno de Rega - TR em (DAP)
T0	Testemunha - zero irrigação	-	-
T1	Irigado com 3 lâminas de 10 mm	30 mm	1, 6 e 13
T2	Irigado com 3 lâminas de 20 mm	60 mm	1, 6 e 13
T3	Irigado com 3 lâminas de 30 mm	90 mm	1, 6 e 13
T4	Irigado com 3 lâminas de 40 mm	120 mm	1, 6 e 13

A quantidade de lâminas de irrigação utilizadas e turnos de rega adotados nos tratamentos foram para garantir uma irrigação de salvamento necessária no plantio de inverno buscando atingir o menor índice de mortalidade de mudas pré-brotadas, diminuição de falhas no canavial e consequente aumento da produtividade e longevidade, dessa forma, definindo entre os tratamentos adotados qual é a melhor lâmina de irrigação necessária ou lâmina de irrigação ótima para garantir o maior pegamento/estabelecimento e alto vigor das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

Em termos de disposição dos tratamentos, foi considerado um espaçamento de 7,20 metros de bordadura entre blocos e 5,0 metros de bordadura entre parcelas para garantir que haja o mínimo possível de interferência do efeito da deriva ocasionado pelo vento, entre a

área efetiva de coleta de dados para os tratamentos propostos, sendo que esses espaçamentos foram suficientes para se evitar a maior parte do efeito da deriva (Figura 10).

Figura 10 - Distribuição dos tratamentos, sendo T (tratamento) e R (repetição)

2.2.4 Preparo do solo e plantio das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar

Em 16 de junho de 2014, foram feitas as operações de gradagem pesada e gradagem niveladora para o preparo do solo, sendo que a calagem, para correção da acidez do solo, foi realizada aproximadamente com 60 dias de antecedência ao plantio na recomendação de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico. No dia 17 de junho, foi realizada a operação de sulcação das linhas de plantio das mudas pré-brotadas no espaçamento de $1,5 \text{ m}$ por $0,9 \text{ m}$, juntamente com a aplicação de 500 kg ha^{-1} do adubo formulado NPK 9–25–25 (Figuras 11A, 11B, 11C e 11D).

As 6.156 mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar para plantio de inverno foram obtidas do viveiro na modalidade "casa de vegetação" junto à BASF - The Chemical Company, localizado na estação experimental no município de Santo Antonio de Posse/SP pelo processo de fabricação AgMusaTM - agricultura de mudas saudáveis, sendo que a variedade escolhida para estudo foi a CTC 20, por apresentar hábito de maturação média/tardia, ou seja, recomendada para plantio de inverno e em solos de média a alta potencial de exigência na fertilidade do solo, com destaque na alta produtividade e alta riqueza no teor de ATR, excelente brotação de soqueira, alto perfilhamento e fechamento entre linhas.

Figura 11 - Área experimental após as operações gradagens pesada/niveladora e calagem corretiva para preparo do solo (A e B) implemento utilizado para realizar a operação de sulcação (C) e área experimental após operação de sulcação (D)

As mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar foram transportadas para o campo no dia 17 de junho de 2014 em bandejas plásticas com 162 células de 50 cm³ de volume cada célula, onde se realizou a acomodação cuidadosa em local sombreado para não estressar as mudas com a ação dos raios solares e irrigada uniformemente no final do dia para sua hidratação (Figuras 12A e 12B).

Figura 12 – Bandeja com 168 mudas pré-brotadas variedade CTC 20 (A) e acomodação das mudas antes do plantio (B)

Após a sulcação, no dia 18 de junho de 2014 os sulcos foram cobertos mecanicamente com uma camada de terra de aproximadamente 0,10 m (Figuras 13A e 13B), juntamente com a aplicação dos defensivos agrícolas - Furadan 350 SC na dose de $6,5 \text{ L ha}^{-1}$ para controle de Nematoides; Regent 800 WG na dose de 250 g ha^{-1} para o controle das principais pragas do solo; Comet na dose de 250 mL ha^{-1} para controle da Podridão Abacaxi e Ferrugem. Os defensivos foram preparados em calda para uma aplicação de 100 L ha^{-1} .

Figura 13 - Implemento utilizado para realizar operação cobertura do solo (A) e área experimental após operação de cobertura dos sulcos (B)

O plantio das 6.156 mudas pré-brotadas foi realizado no dia 18 de junho de 2014, com a utilização de um gabarito com 0,5 m de espaçamento entre mudas, sendo que as mudas foram plantadas uniformemente no sulco coberto, por processo manual utilizando plantadeiras de mudas “matracas” (Figura 14A e 14B), devido ao pequeno tamanho da área.

Figura 14 - Gabarito com 50 cm utilizado para marcar espaçamento entre mudas (A) e matraca utilizadas para plantio (B)

O sistema adotado para o plantio foi o combinado ou “abacaxi”, com dimensões de 1,5 m entre linhas por 0,9 m entre fileiras (Figura 15). A densidade do plantio ficou em torno de 2 mudas por metro linear de sulco (Figuras 16A e 16B).

Figura 15 - Esquema do sistema de plantio combinado no espaçamento de 1,5 m x 0,90 m

Figura 16 - Área experimental na operação de plantio das mudas pré-brotadas (A) e área após plantio (B)

2.2.5 Manejo da irrigação

2.2.5.1 Sistema de irrigação

O método de irrigação utilizado para realizar os tratamentos foi o sistema de aspersão convencional por alas móveis desenvolvido pela empresa Raesa Brasil composto por tubos de alumínio com barras de 6 m de comprimento, diâmetro nominal (DN) de 125 mm para a adutora principal, no ramal de aspersão nas linhas de plantio das parcelas foi utilizado tubos com DN 50 mm e conexões especiais. Esse sistema de irrigação, associado com o aspersor de círculo parcial modelo 3123 PC da marca Senninger Irrigação do Brasil com vazão de 675 L h⁻¹ que permitiu direcionar a irrigação em um ângulo ajustável de 90° e 180°, apresentou taxa de aplicação de 12,5 mm h⁻¹ na pressão de trabalho de 4,2 kg cm⁻² quando os aspersores foram montados no layout nas dimensões de 20 x 9,6 m, com 4 aspersores nas pontas formando um ângulo de 90° e 2 aspersores a 10 m da linha com ângulo de 180°. A uniformidade de

distribuição foi de 86,83% e o coeficiente de uniformidade de Christiansen foi de 90,38%, obtidos por simulações e estimativas pelo *software* WinSSIP2, sendo considerados valores de excelente uniformidade. Esse tipo de irrigação é o que mais se assemelha com o método utilizado atualmente pelas usinas (carretel alto-propelido), porém apresenta excelente controle na lâmina aplicada além de ter baixa intensidade de precipitação (chuva instantânea).

As informações de taxa de aplicação, coeficiente de uniformidade de Christiansen e uniformidade de distribuição foram calculados pelo *software* WinSSIP2 disponibilizado pela Senninger (Figuras 17A e 17B).

Figura 17 - Software WinSSIP2 simulando os valores de taxa de aplicação, uniformidade de distribuição e coeficiente de uniformidade de Christiansen (A) e gráfico em 3D da uniformidade de distribuição na área da parcela com 20 x 9,6 m (B)

O sistema de irrigação por alas móveis, apesar de ser um sistema manual que demanda "mão de obra" e equipe treinada para montá-lo e operá-lo, está voltando a uso em algumas usinas no estado de São Paulo e principalmente no Nordeste brasileiro, pois apresenta uma excelente versatilidade, na medida em que é um sistema portátil, pode ser utilizado em locais com alta declividade, apresenta uma excelente uniformidade de aplicação e cobertura em área total, utilizado para irrigação em plantio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, plantio convencional de inverno e ganho de produtividade em cana-de-açúcar de ciclo tardio de final de safra com a utilização de alguns acessórios para levantar o aspensor acima da altura do canavial. As Figuras 18A, 18B, 18C e 18D demonstra respectivamente a adutora principal, tubos e conexões do sistema de irrigação por alas móveis com aspensor a 70 cm do solo, aspensor círculo parcial com ângulo de 90° utilizado para realizar a irrigação nas parcelas e ramal de irrigação em funcionamento aos 13 DAP no bloco 3.

Figura 18 - Adutora principal de DN 6" e derivação secundária de DN 2" (A), entrada de ramal secundário com aspersor a 70 cm do solo (B), aspersor círculo parcial com ângulo de 90° (C) e ramal de irrigação na parcela aos 13 DAP no bloco 3 (D)

2.2.5.2 Determinação e monitoramento da irrigação

Para a cana-de-açúcar, existem basicamente quatro formas de aplicação da água, as quais caracterizam os principais métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subsuperficial. Para a escolha do sistema correto, deve-se identificar a aptidão de cada sistema às condições específicas consideradas e, por meio de uma análise técnica e econômica criteriosa, definir qual o sistema mais recomendável (DALRI, 2006).

A montagem do sistema de irrigação foi realizada no 1, 6 e 13 DAP para executar os tratamentos propostos, sendo que o método utilizado para controlar as lâminas desejáveis dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 foi o monitoramento da pressão de trabalho e do tempo de irrigação necessário para aplicar a lâmina correta, correspondente a cada tratamento em função da taxa de aplicação de $12,5 \text{ mm h}^{-1}$ obtida pelo software WinSSIP2. Os tempos utilizados para cada tratamento estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Descrição dos tratamentos, lâminas de irrigação utilizadas nos turnos de rega (TR) de 1, 6 e 13 DAP

Tratamento	1 DAP		6 DAP		13 DAP	
	h (mm)	tempo (min)	h (mm)	tempo (min)	h (mm)	tempo (min)
T0	0	0	0	0	0	0
T1	10	48	10	48	10	48
T2	20	96	20	96	20	96
T3	30	144	30	144	30	144
T4	40	192	40	192	40	192

Nas Figuras 19A, 19B, 19C e 19D pode ser conferido o monitoramento da pressão de trabalho de $4,2 \text{ kgf cm}^{-2}$ (pressão na base do aspensor somado com a perda de carga total) com a utilização de um manômetro de glicerina graduado de 0 a 10 kgf cm^{-2} instalado na base da entrada do sistema de irrigação para obter uma maior precisão e controle no monitoramento das lâminas irrigadas em cada tratamento, monitoramento da irrigação realizada no 1º DAP, 6º e 13º DAP.

Figura 19 – Monitoramento da pressão de trabalho $4,2 \text{ kgf cm}^{-2}$ (A), Irrigação no 1º DAP (B), 6º DAP (C) e 13º DAP (D)

2.2.6 Biometria

2.2.6.1 Análises não destrutivas

As análises não destrutivas foram realizadas periodicamente em campo aos 7, 15, 34, 51, 76, 114, 156, 206 dias após o plantio (DAP) das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, pelo método de biometria "não destrutivo" (pelo qual é realizado em campo e não há necessidade de arrancar/destruir as mudas das parcelas), após a data 18/06/2014 de plantio que representa o “zero” DAP, sendo que as análises foram conduzidas até à data de 09/01/2015 que representa o final das análises aos 206 DAP. As análises não destrutivas avaliadas foram:

Mortalidade acumulada das mudas (MM): para análise da sobrevivência e índice de pegamento das mudas foram consideradas todas as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar vivas e mortas em relação ao total de mudas plantadas de cada tratamento e repetição. O acompanhamento da mortalidade foi realizado aos 7, 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP até constatado a estabilização na mortalidade no canavial implantado.

Clorofila total na folha (CTF): para quantificar o índice de clorofila nas folhas das plantas foi proposto um método não destrutivo, utilizando-se o Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila (“clorofiLOG”), fabricado pela empresa Falker Automação Agrícola Ltda (FALKER, 2008), que informa o conteúdo de clorofila em $\mu\text{g cm}^{-2}$, o aparelho foi disponibilizado pelo departamento de Biosistemas da ESALQ/USP. As análises foram realizadas aos 34, 51, 76, 114 e 156 DAP na folha +2, segundo o “sistema Kuijper”, descrito por Van Dillewijn (1952), pois a muda em estágio de desenvolvimento apresenta uma troca muito rápida de folhas, sendo que as folhas +4 apresentaram menos que 20% de coloração verde. Esse parâmetro permite avaliar como está a absorção de nitrogênio pela planta, principal nutriente cuja função é o alongamento dos entrenós da cana, ou seja, desenvolvimento e produtividade.

Tamanho das mudas (TM): com o auxílio de uma trena, aos 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP, foi medida a extensão máxima do colmo primário das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, adotando a superfície de solo como ponto inicial até a extremidade (ponta) da folha mais alta esticada manualmente, sendo esta medida representativa no crescimento total da muda, tanto

no colmo quanto nas folhas. Esse método é importante para avaliar o desenvolvimento dos tratamentos.

Índice de área foliar das mudas (IAF): a determinação e evolução do índice de área foliar foi realizada aos 34, 51, 76, 114 e 156 DAP considerando o número de perfilhos por metro quadrado multiplicado pela área foliar do perfilho primário segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999), que não desconsidera as folhas verdes e relativamente abertas no interior do cartucho foliar, dessa forma para a análise do índice de área foliar foi considerado a contagem de todas as folhas com pigmentação verde acima de 20% que participam na fotossíntese ativa da muda equação (4):

$$AF = C.L.0,75.(N + 2) \quad (4)$$

em que:

- AF = área foliar do colmo primário das mudas, cm²;
- C = comprimento da folha +3, cm;
- L = maior largura da folha +3, cm;
- 0,75 = fator de forma;
- N = número de folhas totais e com pelo menos 20% de área verde;

Número de perfilhos brotados por metro (NPM): aos 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP avaliou-se o perfilhamento em todos os tratamentos contando o número de perfilhos contidos em 10 mudas pré-brotadas (touceiras) ao acaso de cada repetição da parcela dividido pelo espaçamento de plantio de 0,5 m entre mudas, sendo considerado perfilho todo o broto formado que romperam a superfície do solo a partir das mudas plantadas. Aos 206 DAP determinou-se a quantidade total de colmos em todos os tratamentos e repetições. O número de colmos por metro é obtida pela relação da soma de todos os colmos contidos na linha da repetição pelo comprimento da linha de plantio útil de 16 m.

Falhas do canavial (FV): aos 206 DAP, determinaram-se, ainda, as falhas ocorridas por mortalidade de mudas pré-brotas por deficiência hídrica. Foram consideradas todas as falhas ocorridas. Posto de outra forma, não se fez amostragem, determinaram-se todas as falhas em todos os tratamentos e repetições. Conceitualmente, definiu-se “falha” para espaçamentos maiores que 50 cm na fileira, deduzindo-se esta distância. A percentagem de falhas é obtida pela relação da soma desses espaços pelo comprimento da linha de plantio útil de 16 m, conforme metodologia descrita por STOLF (1986).

2.2.6.2 Análises destrutivas

As análises destrutivas das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar também foram realizadas periodicamente em campo, mas também em laboratório aos 15, 34, 51, 76, 114, 156 dias após o plantio (DAP) pelo método de biometria "destrutivo" que necessita da remoção das mudas, sendo que foi estabelecida a utilização de 3 repetições (mudas/touceira) por parcela em cada análise realizada nas áreas de bordadura da parcela para não impactar negativamente nas análises "não destrutivas" de mortalidade e falha do canavial. As análises foram realizadas até o dia 21/11/2014 que representa 156 DAP e foram avaliados os seguintes itens:

Tamanho da raiz (TR): com o auxílio de uma trena, aos 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP, foi medida a extensão máxima da raiz das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, adotando a superfície de solo como ponto inicial até a extremidade (ponta) da maior raiz esticada manualmente, sendo esta medida representativa no estabelecimento das mudas.

Massa seca da raiz (MSR): aos 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP foi realizado a análise para determinar a massa seca da raiz. O processo de avaliação desse item envolve 4 etapas. Etapa 1 – corte e separação das raízes que desenvolveram e romperam o perímetro do tubete que contém um volume inicial de substrato e raiz que foram desconsiderados na pesagem. Etapa 2 – lavagem das raízes separadas em uma peneira com 1 mm de abertura para remover o solo e não perder raiz. Etapa 3 – secagem das raízes em estufa, para obtenção da massa seca após procedimento de lavagem, o material foi levado à estufa com sistema de circulação de ar quente forçado, à temperatura de 65 °C até atingir peso constante, que no caso ocorreu após 72 horas. Etapa 4 – as massas foram medidas em balança analítica com precisão de 0,01 g. A coleta dos dados foi realizada em vala com dimensões de 30 x 30 x 30 cm em três amostras de mudas pré-brotadas ou touceira por parcela representando uma repetição cada amostra. O volume de solo amostrado foi peneirado com peneira de 2 mm de abertura de malha para separar o solo das raízes.

Massa seca da parte aérea (MSA): aos 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP foi realizado a análise para determinar a massa seca de toda parte aérea (folhas e perfilhos). O processo de avaliação desse item envolve 3 etapas. Etapa 1 – corte e separação da parte aérea desenvolvida. Etapa 2 – secagem da parte aérea em estufa, para obtenção da massa seca, o material foi levado à

estufa com sistema de circulação de ar quente forçado, à temperatura de 65 °C até atingir peso constante, que no caso ocorreu após 72 horas. Etapa 3 – nessa etapa as massas foram medidas em balança analítica com precisão de 0,01 g. A coleta dos dados foi realizada em três amostras de mudas pré-brotadas ou touceira por parcela representando uma repetição cada amostra.

Número de perfilhos totais (NPT): aos 15, 34, 51, 76, 114 e 156 DAP avaliou-se o perfilhamento das mudas pré-brotas arrancadas em todos os tratamentos contando o número de perfilhos, sendo considerado perfilho todo o broto formado independente se houve rompimento da superfície do solo a partir da muda plantada ou touceira.

2.2.7 Análise Estatística dos Dados

Os resultados de pesquisa obtidos nas avaliações de estabelecimento e desenvolvimento das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em plantio de inverno nos tratamentos foram analisados com a utilização do software estatístico Sisvar Versão 5.3.

Após a obtenção e tabulação dos resultados de: MSA – matéria seca parte aérea (g por muda de cana), MSR – matéria seca da raiz (g por muda de cana), TR – tamanho da raiz (cm), NPT – número de perfilhos totais (perfilhos por touceira), TM – tamanho ou altura média da muda (cm), NPM – perfilhos ou colmos por metro (perfilhos por m), IAF – índice de área foliar (m^2 de solo por m^2 de área foliar), CTF – clorofila total na folha ($\mu\text{ cm}^{-2}$) e FV – falhas de canavial (%) foram feitas análises estatísticas de comparação de médias pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com o objetivo de determinar se houve diferença significativa para os tratamentos de manejo da irrigação utilizado no plantio de inverno das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Dados meteorológicos gerais

O experimento foi conduzido durante 206 dias, no período de 18/06/2014 a 09/01/2015 e neste intervalo os valores máximos e mínimos de temperatura média (T) ocorreram respectivamente aos 122 DAP (28,7 °C) e aos 32 DAP e 57 DAP (13,8 °C). Também pôde ser observado que a umidade relativa média do ar (UR) chegou ao máximo de 99,7% aos 188 DAP e ao mínimo de 42% aos 68 DAP. Para a radiação solar global (R_s), os

valores máximos e mínimos ocorreram aos 151 DAP ($31 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e 36 DAP ($1,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) respectivamente.

Os valores de evapotranspiração de referência diária (ETo) refletiram a variação dos dados climatológicos, com valor máximo de $6,2 \text{ mm dia}^{-1}$ aos 154 DAP, quando a maior quantidade de energia térmica e radiante ($26,2^\circ\text{C}$ e $28,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), acompanhada de uma menor umidade relativa do ar ($57,9\%$). O menor valor de ETo (1 mm dia^{-1}) ocorreu aos 38 e 188 DAP quando se teve a menor radiação e maior umidade relativa de todo o período, uma vez que a radiação solar é a variável de maior efeito sobre a estimativa do valor de ETo (CONCEIÇÃO; MARIN, 2004) (Figura 20A e 20B).

Figura 20 – Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura ($T - ^\circ\text{C}$) e evapotranspiração de referência estimada (ETo - mm dia^{-1}) (A); radiação solar ($R_s - \text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e umidade relativa média (UR - %) (B)

2.3.2 Balanço hídrico por tratamento

Pela Figura 21A pode-se verificar o balanço hídrico da testemunha (T0) definido para um período de até 76 DAP, pois após essa data houve uma uniformidade do déficit hídrico entre os tratamentos observados, ou seja, os diferentes manejos de irrigação aplicados nos tratamentos não tiveram mais influência entre a interação solo/clima. O tratamento conduzido em condições de déficit hídrico (T0) para plantio de inverno de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em relação aos demais tratamentos com irrigação, foi importante para comparar o estabelecimento e desenvolvimento, sendo que o índice de pegamento das mudas obtido para esse tratamento levou-se em conta somente a ação da água pela ocorrência de chuvas. As chuvas ocorridas no período de 76 DAP foram importantes e impactaram diretamente no comportamento do índice de mortalidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

O balanço hídrico em T1 (3 lâminas de 10 mm) apresentou que o excedente hídrico foi de $0,3 \text{ mm}$ ao 1 DAP, $3,7 \text{ mm}$ aos 6 DAP e $2,4 \text{ mm}$ aos 13 DAP (Figura 21B). Já o balanço hídrico em T2 (3 lâminas de 20 mm) demonstrou que o excedente hídrico foi de $10,3 \text{ mm}$ ao 1 DAP, $13,7 \text{ mm}$ aos 6 DAP e $12,4 \text{ mm}$ aos 13 DAP (Figura 21C).

Figura 21 – Balanço hídrico para T0 (A), T1 (B), T2 (C), T3 (D) e T4 (E) demonstrando como foi o comportamento do déficit (mm dia^{-1}) e excedente (mm dia^{-1}) do plantio das mudas até os 76 DAP

O balanço hídrico em T3 (3 lâminas de 30 mm) apresentou que o excedente hídrico foi de 20,3 mm ao 1 DAP, 23,7 mm aos 6 DAP e 22,4 mm aos 13 DAP (Figura 21D). Já o balanço hídrico em T4 (3 lâminas de 40 mm) demonstrou que o excedente hídrico foi de 30,3 mm ao 1 DAP, 33,7 mm aos 6 DAP e 32,4 mm aos 13 DAP (Figura 21E). Essa avaliação gráfica de controle de déficit/excedente hídrico mostrou-se ser uma importante ferramenta para controle e manejo da irrigação em locais onde possa ter uma estação agrometeorológica automática capaz de enviar as informações em uma frequência diária.

O regime de chuvas e informações de precipitação (mm) para o período de 76 DAP, ou seja, onde houve o maior percentual de mortalidade acumulada (Figura 22), apresentou uma precipitação acumulada de 26,3 mm e a maior chuva registrada foi de 6,3 mm aos 36 DAP (Tabela 8), dessa forma foi constatado nessa pesquisa e será demonstrado posteriormente que essa quantidade de chuvas ocorridas até os 76 DAP foi suficiente para garantir um percentual de aproximadamente 62% de sobrevivência das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar plantadas no tratamento T0 (testemunha – sem irrigação), sendo que certamente o esperado para esse tratamento seria a mortalidade de todas as mudas plantadas caso não houvesse a interferência das chuvas ocorridas nesse período de análise da mortalidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar no plantio de inverno.

Tabela 8 – Chuvas ocorridas nos dias após plantio e chuva acumulada até 76 DAP

DAP	Chuva (mm)	Chuva Acumulada (mm)
4	0,1	0,1
20	1,3	1,4
21	3,3	4,7
22	3,2	7,9
23	0,1	8,0
25	0,1	8,1
30	0,5	8,6
36	6,3	14,9
37	0,5	15,4
39	2,7	18,1
56	5,0	23,1
60	0,9	24,0
61	0,1	24,1
75	0,1	24,2
76	2,1	26,3

Figura 22 – Regime de chuvas e precipitação (mm) para o período de 76 DAP

2.3.3 Estabelecimento e desenvolvimento da mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar

2.3.3.1 Mortalidade acumulada das mudas pré-brotadas

A mortalidade acumulada (MM) das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar foi avaliada durante o ciclo de estabelecimento e desenvolvimento da cultura (Figura 23A) e após 114 DAP não houve alteração na evolução do número de plantas mortas, para todos os tratamentos. A mortalidade total aos 156 DAP (Figura 23B) foi de 37,9% (T0: sem irrigação), 2,1% (T1: 30mm de irrigação), 1,9% (T2: 60 mm de irrigação), 0,3% (T3: 90 mm de irrigação) e 0,8% (T4: 120 mm de irrigação). O tratamento que obteve o menor percentual de mortalidade foi alcançado com a irrigação de 3 lâminas de 30 mm (T3), porém todos os tratamentos com irrigação tiveram um índice de mortalidade aceitável, sendo que para esse parâmetro e considerando os dias atuais de escassez hídrica, a lâmina de irrigação sustentável para garantir um ótimo índice de pegamento (maior que 97,8%) foi o tratamento T1 com a utilização de 3 lâminas de irrigação de 10 mm mais chuvas (26,3 mm).

No estabelecimento do tratamento (T0) conduzido em déficit hídrico, percebeu-se que a evolução da mortalidade (MM) de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar avaliado nos primeiros dias do ciclo da cultura foi de 5,91 % e de 17,74 % respectivamente aos 7 e 15 DAP, sendo que para os demais tratamentos conduzidos com irrigação, o índice de mortalidade (MM) foi praticamente nulo, independentemente da lâmina utilizada.

Figura 23 – Evolução do percentual da mortalidade acumulada (MM) em função dos dias após plantio (A) e mortalidade total aos 156 DAP (B)

O acompanhamento diário em campo do estabelecimento das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar e a análise visual foram parâmetros fundamentais para tentar prever o comportamento fisiológico da planta ao longo do tempo, visto que as mudas sobreviventes no tratamento testemunha (sem irrigação), diferente dos demais tratamentos onde as mudas foram irrigadas e também sobreviveram, apresentaram um atraso no crescimento e desenvolvimento fisiológico ocasionado pela escassez hídrica nos primeiros dias após plantio. As mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar “apresentaram” um mecanismo de defesa para sobreviver ao período de escassez hídrica ficando em um estado de “hibernação” pela falta de

água, no qual ocorre uma interrupção de seu desenvolvimento vegetativo e dessa maneira poupando o máximo possível a perda de água e energia, possibilitando uma sobrevida aos períodos de déficit hídrico e retomando seu crescimento fisiológico na ocorrência das primeiras chuvas.

2.3.3.2 Crescimento e desenvolvimento radicular

O crescimento e desenvolvimento radicular foram avaliados pela análise estatística dos dados de tamanho máximo em centímetros alcançado pela raiz (TR) e massa seca das raízes em gramas (MSR) (Tabelas 9 e 10). As médias obtidas pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade teve diferença significativa ao longo das avaliações até aos 114 DAP para os dois parâmetros analisados.

O maior tamanho da raiz (TR) foi obtido em T1 com 26,7 cm aos 156 DAP e o menor valor encontrado para essa mesma análise foi obtido aos 15 DAP com valor de 3,4 cm para T0, isso significa um crescimento de 7,85 vezes em 141 dias. Já o maior valor de massa seca da raiz (MSR) aos 156 DAP foi encontrado também em T3 com valor de 12,82 g muda⁻¹ e o menor valor foi de 5,74 g mudas⁻¹ para T0 isso representa uma variação de 123% de biomassa na raiz de T0 para T3. Durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, a matéria seca radicular e da parte aérea distribuem-se em função das condições ambientais MACHADO (1987). A variação na distribuição relativa das raízes nas primeiras camadas deve-se principalmente à variação da umidade do solo, segundo INFORZATO & ALVAREZ (1957).

O maior coeficiente de variação (CV) para o desenvolvimento no tamanho da raiz (TR) foi observado inicialmente aos 34 DAP com CV de 19,05 % e o menor no final do ciclo avaliado com CV de 5,56 % aos 114 DAP. Para a massa seca da raiz (MSR) o comportamento do coeficiente de variação foi menor aos 34 DAP com CV de 4,5 % e maior aos 156 DAP com CV de 18,28 %.

Tabela 9 – Acompanhamento das médias do desenvolvimento radicular (cm) ⁽¹⁾

Tratamento	TR - Tamanho da raiz (cm)											
	15 DAP		34 DAP		51 DAP		76 DAP		114 DAP		156 DAP	
T0	3,4	b	5,6	b	11,3	b	13,3	b	19,0	b	22,4	a
T1	9,3	a	10,7	a	13,2	ab	16,7	a	20,6	ab	26,7	a
T2	11,1	a	13,2	a	15,0	ab	17,2	a	22,6	a	24,7	a
T3	12,8	a	16,0	a	15,3	a	18,0	a	21,7	ab	26,0	a
T4	12,0	a	15,3	a	15,2	ab	17,0	a	19,2	ab	23,6	a
CV %	18,71		19,05		11,63		8,29		5,56		9,09	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 10 – Acompanhamento das médias do acúmulo de massa seca da raiz em g muda⁻¹ ⁽¹⁾

Tratamento	MSR - Massa seca da raiz (g muda ⁻¹)											
	15 DAP		34 DAP		51 DAP		76 DAP		114 DAP		156 DAP	
T0	0,01	b	0,04	b	0,09	b	0,27	b	1,66	c	5,74	b
T1	0,07	ab	0,11	a	0,21	a	0,71	ab	5,15	b	9,62	ab
T2	0,11	ab	0,14	a	0,19	ab	1,33	a	7,01	a	10,50	a
T3	0,12	ab	0,16	a	0,21	a	0,98	ab	4,54	b	12,82	a
T4	0,13	a	0,14	a	0,20	ab	0,64	ab	4,73	b	10,96	a
CV %	8,39		4,5		5,91		15,65		6,08		18,28	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para Sampaio et al. (1987), deve-se dar maior importância ao sistema radicular, porque é ele que serve de reserva de nutrientes para a rebrota das socas. O mesmo autor ainda identificou que 75 % da massa radicular estava localizada nos primeiros 20 cm superficiais e 55 % estavam a menos de 30 cm do centro da touceira.

As Figuras 24 e 25 demonstram respectivamente a evolução do crescimento e desenvolvimento no tamanho radicular médio (cm) e o acúmulo médio de massa seca na raiz (g muda⁻¹) ao longo das análises realizadas até aos 156 DAP período de estabelecimento e desenvolvimento do plantio de inverno para as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O crescimento radicular nas mudas pré-brotadas, considerando o método utilizado para coleta das raízes contidas e analisadas em cova com dimensões de 30 x 30 x 30 cm de profundidade, largura e comprimento localizada a baixo da touceira, apresentaram um comportamento muito variável entre os tratamentos com irrigação, sendo que nas primeiras análises de 15 e 34 DAP o desenvolvimento das raízes nos tratamentos T3 e T4 foram beneficiadas pela maior quantidade de água, porém esse maior crescimento inicial aos 51 DAP foi alcançado pelo tratamento T2 e por T1 aos 76 DAP, sendo que em 114 DAP praticamente todos os tratamentos (sequeiro e irrigado) não apresentaram variação nessa análise e em 156 DAP todos os tratamentos apresentaram estatisticamente o mesmo tamanho médio de raiz (TM). Esse menor crescimento no tamanho da raiz para tratamento com déficit hídrico impactou em uma menor exploração radicular e consequente influência na diminuição no volume de biomassa radicular ou massa seca (MS) aos 156 DAP.

Em condições adversas à disponibilidade hídrica, as mudas pré-brotadas apresentaram aprofundamento das raízes como defesa para amenizar os efeitos da seca, sendo que modificações morfofisiológicas nas plantas em resposta ao déficit hídrico, de maneira geral, apresentam impacto negativo sobre o seu crescimento e desenvolvimento (TAIZ & ZEIGER 2004). Dessa maneira, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos.

Figura 24 – Evolução média do crescimento e desenvolvimento radicular - TR (cm)

Figura 25 – Evolução média da massa seca radicular - MSR (g muda⁻¹)

2.3.3.3 Crescimento e desenvolvimento da parte aérea (Análises “destrutivas”)

O acompanhamento do crescimento e desenvolvimento da parte aérea foi determinado por análises "destrutivas" do número médio de perfilhos totais por mudas (NPT) e análise da massa seca da parte aérea - folhas e colmos - (MSA) (Tabelas 11 e 12). As coletas dos dados foram realizadas em três mudas pré-brotadas ou touceiras, por parcela, representando uma repetição de cada amostra, sendo que o volume de massa verde amostrada foi secado em

estufa até o valor da massa seca ficar constante. As médias obtidas pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade apresentaram diferença significativa ao longo das avaliações para os dois parâmetros avaliados até aos 114 DAP e após 156 DAP essa diferença não apresentou significância pelo mesmo teste para a análise do número médio de perfilhos total por touceira.

Tabela 11 – Acompanhamento das médias do desenvolvimento no número de perfilhos total por touceira ⁽¹⁾

Tratamento	NPT - Número de perfilhos total por muda ou touceira											
	15 DAP		34 DAP		51 DAP		76 DAP		114 DAP		156 DAP	
T0	1,8	a	1,6	a	2,9	a	3,7	b	4,3	b	16,8	a
T1	1,9	a	2,3	a	4,0	a	7,0	a	15,8	a	20,0	a
T2	2,6	a	2,9	a	3,8	a	8,1	a	20,4	a	21,8	a
T3	3,1	a	2,9	a	4,0	a	7,8	a	16,1	a	20,0	a
T4	1,9	a	3,0	a	4,3	a	7,4	a	16,3	a	20,4	a
CV %	22,22		21,97		18,67		18,04		13,03		12,2	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 12 – Acompanhamento das médias do acumulo de massa seca parte aérea em g muda⁻¹ ⁽¹⁾

Tratamento	MSA - Massa seca parte aérea (g muda ⁻¹)											
	15 DAP		34 DAP		51 DAP		76 DAP		114 DAP		156 DAP	
T0	0,62	c	0,76	b	1,40	b	2,78	c	3,98	c	77,12	c
T1	0,76	bc	1,08	ab	2,48	a	7,89	ab	33,79	b	112,13	bc
T2	0,81	ab	1,20	a	2,38	a	11,93	a	51,09	a	216,42	a
T3	0,97	a	1,34	a	2,60	a	8,04	ab	36,86	b	232,83	a
T4	0,90	ab	1,25	a	2,80	a	6,60	b	37,30	b	190,02	ab
CV %	3,4		6,26		7,3		10,74		4,3		19,17	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Dessa forma pôde-se constatar que os tratamentos T0 (sem irrigação) e tratamento T1 (irrigado com 3 lâminas de 10mm) tiveram um “atraso” no crescimento e desenvolvimento dos colmos e folhas e consequente diminuição no vigor das mudas devido a escassez hídrica nos primeiros dias após plantio.

Estudos realizados por vários autores demonstraram que os genótipos apresentam resposta diferenciada na produção de biomassa em relação ao aumento do suprimento de água (Evensen et al., 1997; Ramesh & Mahadevaswamy, 2000; Inman-Bamber & Smith, 2005) apud SILVA (2014). Oliveira et al. (2010) estudaram o crescimento e a produtividade de 11 variedades de cana-de-açúcar sob irrigação plena em Carpina (PE) e observaram uma maior produção de matéria seca e maior perfilhamento nas variedades RB92579 e SP81-3250 no ciclo de cana-planta.

O maior número de perfilhos por touceira (NPT) foi obtido no tratamento T2 com 21,8 perfilhos muda⁻¹ aos 156 DAP e o menor valor encontrado para essa mesma análise foi obtido aos 15 DAP com valor médio de 1,8 perfilhos muda⁻¹ para o tratamento T0. Isso significa um crescimento de 12,11 vezes no número de perfilhos por touceira em 141 dias de crescimento. Já o maior valor de massa seca da parte aérea (MSA) aos 156 DAP foi encontrado no tratamento T3 com valor de 232,8 g muda⁻¹ e o menor valor foi de 77,1 g mudas⁻¹ para o tratamento T0, representando uma variação de 202% na biomassa da parte aérea em 141 dias de crescimento. Na medida em que o rendimento e a produção de cana-de-açúcar irrigada dependem da quantidade de água aplicada, do manejo de irrigação combinado com a quantidade certa de adubação, da variedade, da idade do corte, do tipo de solo e do clima (DANTAS NETO et al., 2006), observou-se que em T2 e T3 a combinação desses parâmetros apresentaram maior equilíbrio e consequentemente maior vigor aos 156 DAP.

O maior coeficiente de variação (CV) para o número de perfilhos total por touceira (NPT) foi inicialmente observado aos 15 DAP com CV de 22,22 % e um menor desvio padrão no final do ciclo avaliado aos 156 DAP com CV de 12,2 %. Para a massa seca da parte aérea (MSA) o comportamento do coeficiente de variação foi observado um menor CV de 3,4 % aos 15 DAP e um maior desvio padrão aos 156 DAP com CV de 19,17 %. Sendo que essa maior variação no final do ciclo pode ter sido ocasionada pelo baixo número de amostras realizadas como método de avaliação utilizado nas análises "não destrutivas" (3 mudas por parcela/repetição), na medida em que as touceiras formadas por mudas pré-brotadas aos 156 DAP apresentaram alta variação em peso de biomassa seca da parte aérea.

Pelas Figuras 26 e 27 pode-se verificar a evolução média do crescimento e desenvolvimento do número médio de perfilhos por touceira (NPT) e o acúmulo médio de massa seca na parte aérea (MSA em g muda⁻¹) ao longo das análises realizadas até aos 156 DAP período de estabelecimento e desenvolvimento do plantio de inverno para as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. A biomassa total (folhas e colmos) da parte aérea das touceiras, considerando o método utilizado com o corte total do colmo na altura do solo para coleta da biomassa da parte aérea, apresentou um comportamento muito variável entre os tratamentos conduzidos com o manejo da irrigação, sendo que nas primeiras análises de 15 e 34 DAP a biomassa da parte aérea nos tratamentos T2, T3 e T4 foram beneficiadas pela maior quantidade de água, porém esse maior crescimento inicial aos 51 DAP foi alcançado pelo tratamento T1 e aos 76 DAP e apenas o tratamento com déficit hídrico (T0) ficou prejudicado, sendo que em 114 DAP o tratamento T3 apresentou maior valor de biomassa da parte aérea e

aos 156 DAP os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram estatisticamente a maior média de massa seca parte aérea (MSA).

Figura 26 – Evolução média do número de perfilhos por touceira - NPT

Figura 27 – Evolução média da massa seca parte aérea - MSA (g muda⁻¹)

Essa diferença em menor acúmulo inicial de massa seca na parte aérea para tratamento com déficit hídrico não conseguiu impactar estatisticamente o número de perfilhos por touceiras (NPT) aos 156 DAP, sendo que numa sequência do menor para o maior valor médio foram encontrados 16,8 perfilhos m⁻¹, 20,0 perfilhos m⁻¹, 20,0 perfilhos m⁻¹, 20,4 perfilhos m⁻¹ e 21,8 perfilhos m⁻¹ respectivamente para os tratamentos T0, T1, T3, T4 e T2. Isso representa uma variação de 29,76 % entre T0 e T2 (menor e maior valor) com coeficiente de variação (CV) de 12,2%.

2.3.3.4 Crescimento e desenvolvimento da parte aérea (Análises "não destrutivas")

O acompanhamento do crescimento e desenvolvimento da parte aérea também foi avaliado por análises "não destrutivas", envolvendo o número médio de perfilhos por metro (NPM), análise do tamanho médio das mudas pré-brotadas ou touceira (TM) e cálculo médio do índice de área foliar (IAF) (Tabelas 13, 14 e 15). As coletas dos dados foram realizadas em dez mudas ou touceira por repetição, sendo que cada parcela teve quatro repetições, dessa forma totalizando uma população amostral de 40 mudas ou touceiras por repetição. As médias obtidas pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade apresentaram uma diferença significativa ao longo das avaliações para os três parâmetros avaliados até o final do ciclo avaliado aos 156 DAP.

Tabela 13 – Acompanhamento das médias do desenvolvimento no número de perfilhos por metro ⁽¹⁾

Tratamento	NPM - Número médio de perfilhos por metro					
	15 DAP	34 DAP	51 DAP	76 DAP	114 DAP	156 DAP
T0	2,1 b	2,2 b	2,4 b	3,5 b	9,7 c	20,8 c
T1	2,3 ab	2,7 a	4,1 a	7,2 a	20,3 b	24,7 b
T2	2,5 a	2,7 a	3,9 a	7,7 a	23,3 a	28,0 a
T3	2,3 ab	2,8 a	3,6 a	7,0 a	20,8 ab	24,9 b
T4	2,4 a	2,5 ab	3,5 a	7,2 a	19,4 b	24,4 b
CV %	11,83	15,05	22,24	22,58	21,04	16,18

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 14 – Acompanhamento das médias do tamanho médio da muda ou touceira (cm) ⁽¹⁾

Tratamento	TM - Tamanho muda (cm)					
	15 DAP	34 DAP	51 DAP	76 DAP	114 DAP	156 DAP
T0	18,5 c	32,8 b	39,4 c	42,7 c	78,7 c	141,2 b
T1	30,8 b	47,0 a	53,4 ab	62,6 b	114,0 b	164,9 a
T2	30,9 b	48,5 a	55,1 a	70,6 a	122,3 a	168,6 a
T3	31,8 ab	46,6 a	51,8 b	67,9 a	120,9 ab	170,0 a
T4	32,3 a	47,2 a	50,8 b	68,6 a	120,9 ab	165,3 a
CV %	6,32	8,39	7,95	8,19	9,75	6,1

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 15 – Acompanhamento das médias do índice de área foliar ⁽¹⁾

Tratamento	IAF - Índice de área foliar				
	34 DAP	51 DAP	76 DAP	114 DAP	156 DAP
T0	0,006 c	0,009 b	0,03 b	0,30 c	1,34 c
T1	0,017 b	0,036 a	0,16 a	1,04 b	1,65 b
T2	0,022 a	0,038 a	0,19 a	1,36 a	2,33 a
T3	0,019 ab	0,031 a	0,16 a	1,17 ab	1,80 b
T4	0,015 b	0,029 a	0,18 a	1,11 b	1,68 b
CV %	1,22	2,64	8,22	17,74	16,61

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Dessa forma pode-se considerar que o tratamento T2 obteve o melhor crescimento e desenvolvimento aos 156 DAP para as análises de número médio de 28 perfilhos por metro e maior índice de área foliar com IAF de 2,33 para o mesmo DAP e consequentemente maior vigor das mudas devido ao volume de irrigação utilizado nos primeiros dias após plantio.

Para a análise do crescimento e desenvolvimento do tamanho médio da muda ou touceira (TM) de cana-de-açúcar houve diferença significativa pelo mesmo método apenas para o tratamento testemunha (T0) (sem manejo de irrigação) que apresentou tamanho médio de 141,2 cm variação de 20% menor que as médias apresentadas no tratamento (T3) que atingiu tamanho médio de 170 cm aos 156 DAP. VARELA (2002), avaliando o crescimento de duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação, verificou que o comprimento médio da planta variou significativamente com a variedade da cultura, auferindo um valor de 2,07 m para a variedade SP791011 e 2,40 m para a variedade SP716949. Já AZEVEDO (2002), em trabalho desenvolvido na Fazenda Capim II, sobre a resposta da cana-de-açúcar a diferentes níveis de irrigação e adubação nos tabuleiros da Paraíba, encontrou um comprimento médio de 2,19 m na cana planta.

A fase de perfilhamento intenso da touceira se dá quando é atingido o máximo da produção de perfilhos, chegando algumas variedades a produzir 25 ou mais colmos por touceira. A partir do ponto de máximo perfilhamento, a competição entre os perfilhos pelos fatores de crescimento (luz, espaço, água e nutrientes) acentua-se, de maneira que se constata a diminuição e paralisação deste processo, além da morte dos perfilhos mais novos (SEGATO et al., 2006). O número de perfilhos por metro (NPM) apresentou variação de 35% maior em T2 em relação a T0 que apresentou uma média de 20,8 perfilhos m^{-1} aos 156 DAP. O perfilhamento inicial da cana-de-açúcar foi uniforme e constante até alcançar o pico máximo de perfilhos, seguido de um período de senescência dos mesmos. Resultados semelhantes foram obtidos por BEZUIDENHOUT (2003) que classificou o crescimento da cultura da cana-de-açúcar de acordo com o perfilhamento, tendo separado o mesmo em três fases: a) formação dos perfilhos primários; b) período de grande perfilhamento; e c) período de senescência dos perfilhos.

Já o índice de área foliar (IAF) apresentou uma variação de 73% maior aos 156 DAP em T2 com 2,33 de IAF em relação T0 (déficit hídrico) com IAF de 1,34. SAN JOSÉ & MEDINA (1970) encontraram um valor máximo de IAF de 7,60. YOON (1971) identificou valores de IAF, no crescimento máximo da cana, da ordem de 5,00 e valores de IAF na maturação de 3,56. MACHADO (1981) registrou valores de IAF máximos ao redor de 3,70, não decrescendo mais a partir desse ponto. ROBERTSON et al. (1999) encontraram valores

máximos de 4,92 para cultura irrigada e 4,11 para a cultura sob déficit hídrico, enquanto KEATING et al. (1999) observaram valores máximos em torno de 7,00. Estudando o comportamento da cultura em regime irrigado e de sequeiro, FARIAS (2001) verificou que, para a variedade SP 79 1011 irrigada, o IAF máximo foi de 6,48, e para a cana de sequeiro, foi de 6,33. VARELA (2002) aponta 7,08 como o IAF máximo da cultura, atingindo tal valor aos 288 dias. As lâminas de irrigação influenciaram significativamente o índice de área foliar ao longo do período de cultivo e o índice de área foliar máximo da cana-de-açúcar ocorre aos cinco meses de idade FARIAS (2007).

O maior coeficiente de variação (CV) observado para o número de perfilhos por metro (NPM) foi no meio do ciclo de avaliação aos 76 DAP com CV de 22,58 % e um menor desvio padrão no início do ciclo aos 15 DAP com CV de 11,83 %. Essa variação foi menor devido ao baixo perfilhamento inicial que apresentou uma média de 2 perfilhos m^{-1} , ou seja, 1 perfilho por muda pré-brotada plantada, visto que o espaçamento de plantio foi de 0,5 metros entre mudas pré-brotadas. Aos 156 DAP essa mesma análise apresentou CV de 16,18 % com tendência a diminuir no final do ciclo chegando a CV de 8,99 % aos 206 DAP na fase de formação de colmos. Para tamanho médio das mudas pré-brotadas (TM) o comportamento do coeficiente de variação foi observado um menor CV de 3,4 % aos 156 DAP e um maior desvio padrão aos 114 DAP com CV de 9,75 %, dessa forma mostrando que foi menor a variação ao longo do ciclo de avaliações para essa análise. O coeficiente de variação para o índice de área foliar (IAF) foi menor aos 15 DAP com CV de 1,22 % e maior ao final do ciclo aos 114 DAP com CV de 17,74 %.

Pelas Figuras 28, 29 e 30 pode-se verificar a evolução média do crescimento e desenvolvimento do número médio de perfilhos por metro (NPM), tamanho médio das mudas ou touceira (TM) e o índice de área foliar (IAF) ao longo das análises realizadas até aos 156 DAP período de estabelecimento e desenvolvimento do plantio de inverno para as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O número médio de perfilhos por metro nas mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, considerando o método utilizado com a contagem dos perfilhos em 10 mudas por repetição para estimar a média de perfilhos m^{-1} , apresentou um comportamento muito variável entre os tratamentos com irrigação, sendo que nas primeiras análises de 15, 34, 51 e 76 DAP o perfilhamento por metro em T1, T2, T3 e T4 foram beneficiadas e não apresentaram diferença estatística pela diferentes quantidade de água, porém aos 114 e 156 DAP T3 teve um destaque e apresentou maior número de perfilhos por metro (NPM). Esse maior perfilhamento por metro para o tratamento T3 (30 mm de irrigação) impactou visualmente em uma maior quantidade de folhas e consequentemente em um maior vigor das

mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar comprovado também com a análise do índice de área foliar (IAF) aos 156 DAP que apresentou maior média estatística com IAF de 2,33 para esse mesmo tratamento.

Figura 28 – Evolução média do número de perfilhos por metro – NPM

Figura 29 – Evolução média do crescimento e desenvolvimento em tamanho da parte aérea - TM (cm)

Figura 30 – Evolução média do índice de área foliar - IAF

O acompanhamento nutricional do nitrogênio na planta oriundas do processo de produção de mudas pré-brotadas foi determinado pelas análises da média de clorofila total nas folhas (CTF) (Tabela 16). As médias obtidas pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade tiveram diferença significativa ao longo das avaliações para o teor de nitrogênio (N) avaliado na planta e inicialmente aos 34 DAP o tratamento T2 obteve o melhor índice de clorofila nas folhas. Essa variação inicial deve-se pela dificuldade na metodologia de medida quando o limbo foliar ainda não apresenta tamanho suficiente para leitura, conforme relatado por BARBOSA (2010), no meio das avaliações aos 51 e 76 DAP apenas o tratamento com déficit hídrico (T0) apresentou menor média significativa para os valores observados de índice de clorofila.

Tabela 16 – Acompanhamento das médias da clorofila total nas folhas em $\mu\text{ cm}^{-2}$ ⁽¹⁾

Tratamento	CTF - Clorofila total na folha			
	34 DAP	51 DAP	76 DAP	114 DAP
T0	37,6 b	30,1 b	46,4 b	47,0 a
T1	36,5 b	37,2 a	52,8 a	48,7 a
T2	40,0 a	37,9 a	51,4 a	47,4 a
T3	36,9 b	35,9 a	51,9 a	48,3 a
T4	37,1 b	39,5 a	51,9 a	48,6 a
CV %	9,23	15,63	7,94	6,47

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao final do experimento aos 114 DAP todos os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento para a absorção nutricional de nitrogênio devido a estabilização do canavial, ou seja, as médias não apresentaram diferença significativa pelo mesmo teste analisado conforme concluído por BARBOSA (2010). A clorofila total nas folhas (CTF) apresentou variação 13,67 % em T1 aos 76 DAP com $52,8 \mu\text{ cm}^{-2}$ em relação a T0 que apresentou média de $46,4 \mu\text{ cm}^{-2}$ para a mesma data. O maior coeficiente de variação (CV) para clorofila total na folha (CTF) foi inicialmente observado aos 51 DAP com desvio padrão de 15,63 % e o menor no final do ciclo avaliado com desvio padrão 6,47 % aos 114 DAP, devido a maior área foliar e facilidade para se obter a leitura pelo método amostrado.

Uma planta com alto teor de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, pelo seu valor potencial de captação de “quanta” na unidade de tempo, afirmam vários autores, citados por REGO & POSSAMAI (2006). O teor de clorofila na folha também é utilizado para prever o nível nutricional de nitrogênio (N) em plantas, devido ao fato de a quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com teor de N na planta. Vários

autores, citados por ARGENTA et al. (2001), afirmam que essa relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos. Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) o nitrogênio participa na composição estrutural da molécula de clorofila na porção porfirina, nos anéis tetrapirrólicos. Como vantagens de se medir os teores foliares de clorofila no diagnóstico do estado nutricional de N na planta, MALAVOLTA et al. (1998) descreveram que o teor foliar de clorofila indica o nível adequado de N, e não é afetado pelo consumo de luxo do elemento em questão, visto que a planta não produz clorofila além do que necessita.

Pela Figura 31 pode-se acompanhar a evolução média da clorofila total nas folhas ao longo das análises realizadas até aos 114 DAP período de estabelecimento e desenvolvimento do plantio de inverno para as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Sendo que essa análise apresentou diferenças estatísticas nas médias obtidas ao longo das análises aos 34, 51 e 76 DAP, inicialmente devido à dificuldade de se amostrar e principalmente aos 51 e 76 DAP ocasionados pelo manejo de irrigação adotado no plantio para pegamento das mudas pré-brotadas, porém essa diferença deixou de existir aos 114 DAP quando as médias observadas apresentaram a mesma média estatística para o estado nutricional de N da planta.

Figura 31 – Evolução média da clorofila total nas folhas - CTF ($\mu\text{ cm}^{-2}$)

Aos 206 DAP, ou seja, após a estabilização do canavial e diferenciação dos perfilhos pela formação dos colmos das mudas de cana planta oriundas do processo de produção de mudas pré-brotadas foi analisado o número médio de colmos por metro (NPM) e percentual de falha no canavial (FV) (Tabelas 17). As médias obtidas pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade apresentaram diferença significativa para as médias obtidas do

tratamento testemunha (sem irrigação) para os dois parâmetros avaliados. Dessa forma pode-se constatar que aos 206 DAP o tratamento testemunha (sem irrigação) apresentou uma falha no canavial de 45% e consequente diminuição no número médio de colmos por metro na ordem de 15 perfilhos m^{-1} ocasionado pelo déficit hídrico nos primeiros dias após plantio.

Tabela 17 – Análise aos 206 DAP do NPM – número de colmos por metro e FV – falha do canavial em (%)⁽¹⁾

Tratamento	NPM		FV (%)	
T0	15	b	45,0%	a
T1	19	a	2,3%	b
T2	19	a	2,3%	b
T3	19	a	0,4%	b
T4	19	a	1,2%	b
CV %	8,99		7,61	

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O coeficiente de variação (CV) para a última avaliação do desenvolvimento no número de perfilhos/colmos por metro (NPM) aos 206 DAP foi de 8,99 % e analisando a falha no canavial (FV), na mesma fase de formação dos colmos, observou-se um CV de 7,61 % para a mesma data avaliada, considerando que nessas avaliações foi realizando a contagem de todos os colmos por repetição, pode-se dizer que o as médias de 15 e 19 colmos m^{-1} respectivamente para os tratamento (T0) e (T1, T2, T3 e T4) tiveram uma excelente representabilidade da população de cana-de-açúcar, também pode-se observar que as mudas pré-brotadas com déficit hídrico estavam atrasadas em 1 mês na idade fisiológica em comparação com os demais tratamentos com irrigação, pois as touceiras em T0 apresentavam características de intenso perfilhamento com tendência de diminuir o número de perfilhos por metros ao longo do final do ciclo vegetativo da cultura, enquanto que os demais tratamento com manejo de irrigação estavam em fase de enchimento e formação de colmos.

A Figura 32 demonstra a média do número de colmos e falha do canavial (%) aos 206 DAP (período de enchimento dos colmos) para todos os tratamentos propostos na fase de desenvolvimento do canavial de plantio de inverno para as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O número médio de colmos por metro nas touceiras de mudas pré-brotadas, considerando o método utilizado com a contagem de todos os perfilhos por repetição para quantificar a quantidade de colmos contidos em um metro de plantio, apresentou comportamento muito variável entre os tratamentos com irrigação ao longo das análises. Porém aos 206 DAP o número de colmos por metro no tratamento com déficit hídrico foi

afetado e apresentou diferença estatística pela falta de água quando comparado com os demais tratamentos. Dessa forma os tratamentos com irrigação (T1, T2, T3 e T4) tiveram estatisticamente o mesmo número de colmos por metro (NPM) no final do ciclo de desenvolvimento avaliado. Esse menor perfilhamento por metro no final do ciclo constatado no tratamento T0 sem irrigação foi ocorrido principalmente devido ao alto valor na falha do canavial (FV), na ordem de 45 % que impacta diretamente em uma menor quantidade de colmos por metro, sendo que a falha ocorrida foi diretamente influenciada pela taxa de mortalidade (MM) nas mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar ocorrida no início do estabelecimento da cultura canavieira.

Apesar dos tratamentos (T1) e (T2) apresentarem uma falha de canavial (FV) de 2 %, tal valor não foi suficiente para reduzir o número médio de colmos por metro em relação aos tratamento (T3) e (T4), que apresentaram valores quase nulos, pois observou-se que pequenas falhas promoveram um espaço que foi rapidamente ocupado por outros perfilho/colmos em desenvolvimento quando esses são submetidos a condições de menor competição, dessa forma recebem maior quantidade de radiação solar para reação fotossintética das folhas.

Figura 32 – Número de colmos por metro - NPM e falha do canavial - FV aos 206 DAP

3 CONCLUSÕES

Diante das condições experimentais de campo em que foi conduzida a pesquisa e mediante os resultados obtidos pela análise dos testes de comparação de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, pode-se concluir que:

- 1) O manejo com 3 lâminas de 10 mm foi suficiente para garantir 97,8% de pegamento das mudas para as condições experimentais da região de Piracicaba-SP, que teve mais as chuvas de 26,3 mm até 76 DAP. Caso seja adotado outro manejo de irrigação, sugere-se que poderá ocorrer desperdício na aplicação de água (quando da utilização de lâminas maiores), algo impraticável atualmente, diante dos aspectos do manejo racional da água;
- 2) A mortalidade no plantio de inverno das mudas de cana-de-açúcar providas do processo de produção de mudas pré-brotadas ficou diretamente relacionada ao emprego da irrigação, principalmente nos primeiros dias após plantio, a qual foi fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas;
- 3) Avaliar o estabelecimento e desenvolvimento das mudas pré-brotadas por meio de análises "destrutivas" e "não destrutivas" comprovaram que o tratamento T2 foi o que obteve melhor vigor aos 156 DAP, porém apenas as avaliações "não destrutivas" foram suficientes para se predizer o comportamento do crescimento e estabelecimento da cultura. Contudo, sugere-se uma nova pesquisa para que também seja feita uma avaliação biométrica no final do ciclo da cultura para verificar se houve diferença significativa na produtividade;
- 4) Pode-se dizer que a formação do canavial de inverno por mudas de cana planta, oriundas do processo de multiplicação por mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, é uma tecnologia de propagação rápida para implantação da cultura de cana-de-açúcar, porém necessita diretamente da irrigação para garantir o pegamento das mudas, pois nessas há uma menor fonte de reserva nas raízes para sobreviver durante períodos de escassez hídrica, principalmente nos primeiros dias após plantio;
- 5) Os manejos com irrigação adotados (T1, T2, T3 e T4) não apresentaram diferença significativa no crescimento e desenvolvimento no número de colmos por metro e na falha do canavial aos 206 dias após plantio. Dessa forma, sugere-se que seja realizada nova

pesquisa onde o manejo da irrigação seja variado em função de lâminas menores que 20 mm e aumentando o número de aplicações; e

- 6) De qualquer maneira, a irrigação nos primeiros dias após plantio foi fundamental na estabilização e no desenvolvimento da cana-de-açúcar, porém não será a única prática que ajudará a recuperar a produtividade. Além dela, sugere-se que outras técnicas, tais como o melhoramento genético e tecnologias que auxiliem na retenção de água pelo solo, como a utilização de hidrogel no plantio, sejam pesquisadas.
- 7) Os resultados obtidos nesse trabalho se aplica para as condições edafoclimáticas da região canavieira de Piracicaba-SP. Dessa forma, sugere-se que esse trabalho seja repetido para outras regiões canavieiras do Estado de São Paulo e até do Brasil, que apresentem condições edafoclimáticas diferentes da região desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, O. **Raio x dos canaviais**: Censo revela variedades mais cultivadas. Revista Canavieiros, Sertãozinho, v. 39, n.4., p. 20-21, set. 2009.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 42- 55, 1987.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre/RS, v. 13, p.158-167, 2001.
- AZEVEDO, H.M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2002. 112p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Campina Grande: UFCG, 2002.
- BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. Análise do fator temperatura do ar no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1., 1979, Mossoró. **Anais...** Mossoró: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1979. p. 6-8.
- BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.
- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**: um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 1993. 142p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- BARBOSA, F.S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. 81p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BARBOSA, F.S.; RUBENS, D.C.; ROCHA, F.J.; MASCHIO, R.; LEME FILHO, J.R.A.; Índices de clorofila para variedades de cana-de-açúcar sob dois níveis de irrigação.: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA CLIA;9., CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA CONBEA,39., 2010. Vitória /ES, **Anais...** Vitória /ES, 2010. 4p.
- BASF – The Chemical Company. **Sistema AgMusaTM - Agricultura de Mudas Sadias para formação de viveiros de cana-de-açúcar**. Disponível em: http://www.agro.basf.com.br/agr/ms/pt_BR/content/APBrazil/solutions/AgMusa/AgMusa. Acesso em: 18 mai 2015.
- BEAUCLAIR, E.G.F.; SCARPARI, M.S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. p. 65-73.

BERDING, N.; HURNEY, A.P.; SALTER, B.; BONNETT, G.D. Agronomic impact of sucker development in sugarcane under different environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 203-217, 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. 625p.

BEZUIDENHOUT, C.N.; O'LEARY, G.J.; SINGELS, A.; BAJIC, V.B. A process based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems**, v.76, n.2, p.589-599, 2003.

BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York: Longman, 1984. 414p.

BRAGION, L. **O próalcool renasce**. Com Ciência, Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. 2007. Disponível em: <<http://comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=23&id=254&tipo=0>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BULL, T.A.; GLASZIOU, K.T. Sugarcane. In: EVANS, L.T. (Ed.). **Crop physiology some case histories**. Cambridge: Cambridge University Press, 1975. p. 51-72.

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

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

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo varietal e de Produtividade**. Piracicaba, 2012. 18 p.

_____. **Catálogos de variedades CTC**. Piracicaba, 2014. 34 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2015**. Brasília, 2015. 65p.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, F.R. Efeitos de variáveis meteorológicas sobre a evapotranspiração de referência em uma região de clima tropical úmido no Brasil. In: REUNIÓN ARGENTINA Y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA; REUNIÓN ARGENTINA Y IV LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 2004. Mar del Plata, 10., **Anais...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 27p.

CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; RITANTAIS, J. M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 27. p. 295-309, 1992.

COSTA, V.M. Irrigação em cana-de-açúcar: uma realidade ainda oculta no Brasil. **STAB**, Piracicaba. v. 30, n. 2, p.15-17, 2011.

DALRI, A.B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.157-169.

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

DELGADO, A.A.; CÉSAR, M.A.A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Tecnologia Rural, 1977. 364p.

DIAS, F.L.F. Produtividade de cana-de-açúcar em relação ao clima e solo da Região Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 627-634, 1999.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de GHEYI, H. R.; SOUZA, A. A.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. p. 220-226.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006. 306p.

EVENSEN, C.I.; MUCHOW, R.C.; EL-SWAIFY, S.A.; OSGOOD, R.V. Yield accumulation in irrigated sugarcane: I. Effect of crop age and cultivar. **Agronomy Journal**, Mardison, v.89, p.638-646, 1997.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA . **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG/ CFL 1030)**. Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, 2008. 33p.

FARIAS, C.H. de A. **Desempenho morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e de sequeiro na Zona da Mata paraibana**. 2001, 78p Dissertação de mestrado (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Paraíba/PB, 2001.

FARIAS, C.H. de A.; DANTAS, J.N.; FERNANDES, D.P.; GHEYI, H.R.; 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.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Blume, 1975. 433p.

FERNANDES, A.J. **Manual da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 1990. 196p.

FIGUEIREDO, P. Breve histórico da cana-de-açúcar e do papel do instituto agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 24-32.

- FRIZZONE, J.A.; MATIOLI, C.S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Nordeste 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, C. Sistema muda conceito de plantio. **Jornal A Lavoura**, Campinas, n. 696, p. 38-39, 2013.
- HERMANN, E.R. ; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v.17 n.5 p.32-34, 1999.
- HUMBERT, H.P. **The growing of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 779p.
- INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar va. 290, em solo tipo terra-roxa legítima. **Bragantia**, Campinas, v.16, p.1-13, 1957.
- INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, M.; ROBERTSON, J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, 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.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **As 7 etapas do sistema de plantio de mudas pré-brotadas**. Disponível em: <http://www.novacana.com/n/cana/plantio/as-7-etapas-sistema-plantio-mudas-pre-brotadas-271113/>. Acesso em: 10 maio 2014.
- JAMES, G. **Sugarcane**. 2nd ed. Oxford: Blackwell, 2004. 216p.
- KEATING, B.A.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; HUTH, N.I. Modelling sugarcane production systems. I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 253-271, 1999.
- LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n.1, p.18-23, 2004.
- MACHADO, E.C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 115p. (Mestrado - Instituto de Biologia - Universidade Estadual de Campinas, Campinas).
- MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar In: PARANHOS, S.B. (Coord.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p.56-87.
- MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo de carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 113-118.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 319p.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar**: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. 1998. 122p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAULE, R. F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JUNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MAURI, R. **Relações hídricas na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar submetida a déficit hídrico variável**. 2012. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP, 2006. p. 21-42.

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

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**. Encarte especial, Piracicaba n. 67, p. 1-16, 1994.

PENATTI, C.P. **Adubação da Cana-de-açúcar**: 30 anos de experiência. Itu (SP): Ottoni Editora, 2013. 347p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191p.

QUINTELA, A C.R. **Avaliação do plantio convencional e de cana inteira, com e sem desponete, e da compactação pós-colheita, em duas variedades de cana-de-açúcar**. Lavras, 1996. 37p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras.

QUINTELA, A.C.R.; ANDRADE, L.A.B.; CARVALHO, G.J.; BOCARBO, M.R. Efeito do Plantio de cana inteira, com e sem desponete, e da compactação pós-colheita, em duas variedades de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p. 22-24, 1997.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, 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. 4, p. 249-258, 2000.

REGO, G.M.; POSSAMAI, E. Efeito do Sombreamento sobre o Teor de Clorofila e Crescimento Inicial do Jequitibá-rosa. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 179-194, 2006.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Ed. Dos Autores, 2007. 310p.

ROBERTSON, M.J.; INMAM-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugar cane with early and mid-season water deficit. **Field Crop Research**, Elsevier, 1999, v.64 p.211-227.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. UNESP, Instituto de Biociências. 1995. 99 p. Disponível em: <http://www.residenciaagronomica.ufpr.br/bibliografia/MATURAD.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

RODRIGUES, L.O. **Processo de terceirização e a presença de arranjos institucionais distintos na colheita da cana-de-açúcar**. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente exceltm para os cálculos de balanço hídrico: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp)**. 1989. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

SAN JOSÉ, J.J.; MEDINA, E. Análisis de la productividad de caña de azúcar. I. crecimiento, desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de caña de azúcar 'PR 980'. **Turrialba**, v.20, n.2, p.143-148, 1970,

SANGUINO, A. **Curso de formação e condução de viveiros de mudas de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Ed. GATEC, 2007. 48p.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, J.H.; CAVALCANTI, F.J.A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III. Conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, p.425-431, 1987.

SANTOS, V.R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A.W.; COSTA, J.P.V.; SANTOS, C.G.; SANTOS, A.C.I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 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: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E. NÓBREGA, J.C.M. (Org.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SEGATO, S.V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415p.

SILVA, M.A.; CARLIN, S.D.; CAMPANA, M.P.; LANDELL, M.G.A.; PERRECIN, D.; VASCONCELOS, A.C.M. Brotação da cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.22 n. 1, p. 28-33, 2003.

SILVA, M.A.; ARANTES, M.T.; RHEIN, A.F.L.; GAVA, G.J.C.; KOLLN, O.T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.241-249, 2014.

SILVA, M.A.; SOARES, R.A.B; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, Campinas, v.67 n.3, p. 655-661, 2008.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 169-183, 2005.

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

STOLF, R. Metodologia de Avaliação de Falhas nas Linhas de Cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 4, p. 22-36, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004. 452p.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 592-600, 1976.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371p.

van GENUCHTEN, M. Th. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, California, v. 44, p. 892-898, 1980.

van GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. **The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils**, Riverside – California: U.S. Salinity Laboratory, 1991. 85p.

VARELA, A.C.G. **Análise do comportamento morfofisiológico da cana-de-açúcar irrigada, variedades SP 791011 e SP 716949, nos tabuleiros costeiros paraibanos**. 2002. 89p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal da Paraíba, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; Fisiologia do sistema radicular. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A (Ed.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 79-98.

VEIGA, C.F.M.; VIEIRA, J.R.; MORGADO, I.V. **Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do estado do Rio de Janeiro: relatório de pesquisa**. Rio de Janeiro: FAERJ; SEBRAE/RJ, 2006. 107p.

YOON, C.N. Growth studies on sugarcane. **The Malaysian Agricultural Journal**, v. 48, n.2, p. 47-59, 1971