**Universidade de São Paulo**
**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

# Estratégias de irrigação para viveiros de cana-de-açúcar com mudas provenientes de micropropagação (Biofábrica)

**José Guilherme Victorelli Scanavini**

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

**Piracicaba**
**2014**

**José Guilherme Victorelli Scanavini**
**Engenheiro Agrônomo**

# Estratégias de irrigação para viveiros de cana-de-açúcar com mudas provenientes de micropropagação (Biofábrica)

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

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

**Piracicaba**
**2014**

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

Scanavini, José Guilherme Victorelli
Estratégias de irrigação para viveiros de cana-de-açúcar com mudas provenientes de micropropagação (Biofábrica) / José Guilherme Victorelli Scanavini.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
89 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Cana-de-açúcar 2. Viveiros 3. Micropropagação 4. Estratégias de irrigação I. Título

CDD 633.61
S283e

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

À minha mãe Beneth,
À minha noiva Renata e
Às minhas irmãs Bruna e Gabriela

**Dedico**

Ao Setor Sucroenergético e
À Comunidade Acadêmica

**Ofereço**

## AGRADECIMENTOS PESSOAIS

A Deus, por transformar momentos de desafios em motivação e busca pelo conhecimento. E, mais uma vez, fazer entender que os objetivos não se alcançam sozinho;

Agradeço à minha mãe, Beneth, pelo amor incondicional, alicerce para as minhas conquistas. Minha eterna gratidão.

Aos meus avós, Benedicto e Therezinha Victorelli, meus melhores amigos nesta jornada, pelo afeto.

Às minhas irmãs, Bruna e Gabriela, alicerces de minha vida, pela torcida e vibração em cada etapa vencida;

À minha noiva Renata, pelo apoio, carinho e compreensão. Exemplo de dedicação, capricho e paixão por aquilo que faz, responsável por vários momentos de felicidade na minha vida;

Aos meus sogros, Marina e Tura, pelo apoio e companheirismo;

Aos demais familiares, que direta ou indiretamente me auxiliaram nesta caminhada;

Ao meu grupo de amigos, Super 9 e aos amigos da República Perdição, pela amizade.

## AGRADECIMENTOS PROFISSIONAIS

Ao meu orientador, Professor Rubens Duarte Coelho, pela oportunidade, parceria e conselhos durante o trabalho. Além disso, meu respeito e admiração pela sua paixão pela experimentação agrícola, que contagia seus orientados;

À Usina Agro Serra, pelo suporte financeiro deste experimento, através de um Projeto FEALQ; em especial, ao Sr. Tulio Ticianeli, por autorizar a divulgação dos dados deste projeto de pesquisa com a ESALQ no formato de uma Dissertação de Mestrado;

À Fundação de Amparo a Pesquisa de São Paulo e à Empresa - Odebrecht, que através do Projeto PITE 2012/50083-7 disponibilizaram diversos equipamentos ao grupo de pesquisa em irrigação de cana-de-açúcar do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ, alguns dos quais foram utilizados neste experimento.

Aos meus amigos do curso de pós-graduação, pela oportunidade da amizade: Daniel Leal, Eusímio Fraga, Fernando Barbosa e Lucas Santos. Divido com eles os méritos deste trabalho, uma vez que foram fundamentais na implantação e condução do experimento;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP), por proporcionar oportunidade para estudantes e profissionais adquirirem conhecimento técnico e científico e produzirem novos conhecimentos;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Gilmar Grigolon, Antônio Gozzo (Seu Antônio), Ângela Silva e Davilmar Colevatti, pela atenção e disposição durante a realização dos trabalhos;

Aos amigos de pós-graduação, Magda Bonilla, Jonathan Lizcano, Timoteo Barros, Jefferson José, Marcos Amaral e outros do PPGESA, que não foram mencionados;

Aos alunos de graduação e estagiários do grupo de pesquisa do Professor Rubens Duarte Coelho, Liz Rabelo e Vinicius Perin;

Aos amigos da Monsanto, em particular ao meu gestor Urubatan Palhares Klink pela oportunidade e confiança.

**EPÍGRAFE**

A má notícia é que o tempo voa.
A boa notícia é que você é o piloto.

*Michael Althsuler*

# SUMÁRIO

RESUMO ..... 13
ABSTRACT ..... 15
LISTA DE FIGURAS ..... 17
LISTA DE TABELAS ..... 21
1 INTRODUÇÃO ..... 23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 27
2.1 Histórico e panorama atual da cana-de-açúcar no Brasil ..... 27
2.2 Melhoramento genético de cana-de-açúcar ..... 29
2.3 Plantio de viveiros de cana-de-açúcar ..... 30
2.4 Processo de micropropagação de cana-de-açúcar (Biofábrica) ..... 31
2.5 Desenvolvimento fenológico de cana-de-açúcar ..... 33
2.6 Irrigação de viveiros de cana-de-açúcar ..... 34
2.6 Respostas da planta de cana-de-açúcar ao déficit hídrico ..... 35
2.7 Utilização do gel hidrorretentor ..... 36
3 MATERIAL E MÉTODOS ..... 39
3.1 Localização e caracterização da área experimental ..... 39
3.2 Sistema de irrigação ..... 41
3.3 Variedade e volume de substrato ..... 42
3.4 Estratégias de irrigação e definição dos tratamentos ..... 44
3.5 Delineamento Experimental ..... 46
3.6 Plantio e condução da cultura ..... 48
3.7 Umidade do solo ..... 48
3.8 Monitoramento climático ..... 51
3.9 Manejo da irrigação ..... 53
3.10 Parâmetros avaliados referentes ao desenvolvimento das plantas ..... 55
3.10.1 Análise inicial das mudas ..... 55
3.10.2 Avaliações finais ..... 56
3.10.3 Número de perfilhos ..... 56
3.10.4 Extensão máxima do colmo primário ..... 56
3.10.5 Número de folhas ..... 56
3.10.6 Porcentagem de plantas mortas ..... 57
3.10.7 Acúmulo de matéria seca ..... 57

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 59
4.1 Dados Meteorológicos ..... 59
4.2 Umidade do solo ..... 60
4.2.1 Umidade gravimétrica para as estratégias sem irrigação inicial ..... 60
4.2.2 Resultados da Calibração das TDRs ..... 61
4.2.3 Resultados do monitoramento da umidade do solo através da TDR ..... 62
4.3 Parâmetros referentes ao desenvolvimento das plantas ..... 68
4.3.1 Análises iniciais das mudas ..... 68
4.3.2 Porcentual de plantas mortas ..... 69
4.3.3 Matéria seca total da parte aérea e número de perfilhos ..... 72
4.3.4 Matéria seca particionada ..... 75
4.3.5 Número de folhas e extensão máxima do colmo primário ..... 76
4.3.6 Principais resultados consolidados ..... 76
5 CONCLUSÕES ..... 81
RERÊNCIAS ..... 83
ANEXO..... ..... 87

## RESUMO

**Estratégias de irrigação para viveiros de cana-de-açúcar com mudas provenientes de micropropagação (Biofábrica)**

O setor sucroenergético brasileiro vem apresentando baixos índices de incremento na produtividade agrícola em seus canaviais nos últimos anos. Existem alguns fatores que se relacionam a essa problemática, dentre eles destaca-se o lento processo de adoção e implantação de novos cultivares de cana-de-açúcar em áreas comerciais. Isso se deve em menor escala à falta de informação e, em maior escala, às estratégias adotadas para inserção e multiplicação do material vegetativo desses novos cultivares. Deste modo, a micropropagação - através da extração do meristema apical de plantas do cultivar de interesse e da utilização dos métodos de multiplicação de biofábrica - possibilita alcançar rapidamente uma quantidade significativa de novas plantas para atender plantios de viveiros de novos cultivares, agilizando, assim, a inserção dos cultivares em áreas de viveiros e, posteriormente, em áreas comerciais. Este trabalho teve por objetivo verificar a melhor estratégia de irrigação (E) para atender às necessidades hídricas das mudas recém-plantadas de cana-de-açúcar provenientes do processo de biofábrica, com diferentes volumes de substrato (VS). A variedade estudada foi a RB93509. O sistema de irrigação utilizado foi o tipo de gotejamento, e as estratégias de irrigação (E) foram determinadas com base na evapotranspiração acumulada (EToAc) dentro da estufa, com separação em duas condições iniciais: lâminas de irrigação após plantio e mantidas em solo seco após plantio, até a primeira lâmina pré-determinada. Com isso, a umidade do solo em E1 foi mantida na capacidade de campo através da tensiometria por todo experimento; E2, E3 e E4 receberam a lâmina inicial de irrigação inicial de 30 mm; e E5, E6, E7 e E8 mantidas inicialmente em solo seco até a sua primeira lâmina de 30 mm para diferentes intervalos de EToAc. Essa lâmina foi adotada, uma vez que na grande maioria das usinas de cana-de-açúcar o sistema de irrigação predominante é o carretel enrolado. Através deste sistema a lâmina mínima recomendada para garantir umidade em profundidade e uniformidade da área é de 30 mm. O segundo fator de variação foi o volume de substrato (VS) com que as mudas foram transplantadas, sendo: 125 $cm^3$, 93 $cm^3$, 73 $cm^3$ e 56 $cm^3$. Deste modo, combinando as 8 estratégias de irrigação e os 4 volumes de substratos, obteve-se 32 tratamentos implementados com três repetições casualizadas em 3 blocos, totalizando 96 parcelas experimentais. Observam-se diferenças significativas para as diversas estratégias de irrigação implementadas em todas as características avaliadas. Por outro lado, para o fator volume de substrato (VS) não houve nível de significância na maioria das características avaliadas. Considerando-se a característica "porcentual de plantas mortas" como informação fundamental para a garantia do *stand* do viveiro, observou-se que as lâminas de irrigação de 30 mm não devem ocorrer em intervalos superiores a 30 mm de EToAc, pois apenas E1 e E2 garantiram 100% de sobrevivência e E5, com exceção do VS 56 $cm^3$, apresentou uma taxa de 50% de plantas mortas.


Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Viveiros; Micropropagação; Estratégias de irrigação

## ABSTRACT


### Irrigation strategies for sugarcane nurseries with seedlings coming from micropropagation process (Biofactory)

The Brazilian sugarcane sector has been facing low indices of productivity in their fields. There are some factors correlated to this issue, such as the slow process to increase new sugarcane cultivars on commercial areas, due to the lack of information related to the new cultivars and mainly because of the few strategies adopted to input and multiply the vegetative material from the new cultivars. Thus, through the utilization of micropropagation process by means of the extraction of apical meristem from the cultivar of interest and utilization of biofactory multiplying methods it is possible to reach an amount of new sugarcane seedlings to provide the nurseries with new cultivars, improving therewith the insertion of cultivars. This work aimed at checking the best irrigation strategy (E) to supply water needs of sugarcane seedlings recently planted from the biofactory process with different substrate volumes (VS).The variety used was the RB93509. The irrigation system used was the dripping system and the irrigation strategies were established based on periods of cumulative reference evapotranspiration (EToAc) inside the greenhouse separated in two different initial conditions: initial irrigation after planting and kept on dry soils up to the first predetermined irrigation. Therewith, the soil moisture on E1 was kept on soil available water capacity by the tensiometry throughout the experiment; E2, E3, E4 were supplied by an initial irrigation with 30 mm, and E5, E6, E7 and E8 were kept initially on dry soil, up to the first irrigation with 30 mm in different intervals of EToAc. Such amount of water was chosen, because the majority of sugarcane mills (growers) have a water reel travelling sprinkler as a predominant irrigation system. Using this system, 30 mm is the minimum of water recommended to guarantee depth moisture and uniformity of the planting area. The second variation factor was the substrate volume (VS) in which the seedlings were transplanted: 125 $cm^3$, 93 $cm^3$, 73 $cm^3$ and 56 $cm^3$. So, crossing 8 irrigation strategies and 4 substrates volumes, 32 treatments with repetition randomized in three blocks (a total of 96 plots) were obtained. It was observed statistical difference concerning the irrigation strategy factor for all assessed characteristics. On the other hand the VS factor did not show any statistical difference for the majority of assessed characteristics. Considering the percentage of dead seedlings, as fundamental information to warranty 100% of nurseries stand, it was observed that the irrigation supplement (30 mm) must not occur at intervals above 30 mm of EtoAc, once only E1 and E2 reached 100% of seedlings survival, and E5 (except for VS 56 $cm^3$) resulted in 50% of seedlings death rate.


Keywords: Sugarcane; Nurseries; Micropropagation; Irrigation strategies

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da área plantada, área colhida de cana-de-açúcar e produtividade no Brasil, de 1975 a 2010 (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2012)..... 28
Figura 2 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar. Adaptada de Wiedenfeld et al. (2001) ..... 33
Figura 3 – Representação gráfica da equação de ajuste entre quantidade de touceiras vivas e balanço hídrico para ambas as variedades (BARBOSA, 2010)..... 35
Figura 4 - Localização e vista externa do experimento ..... 39
Figura 5 - Etapas do preenchimento das 96 caixas de amianto – (a) alinhamento das caixas; (b) colocação de uma camada de aproximadamente 1 cm de pedrisco; (c) colocação de uma manta de bidim acima do pedrisco; (d) preenchimento com solo até atingir 40 cm de profundidade..... 40
Figura 6 - Esquema resultante das caixas onde as mudas foram plantadas ..... 40
Figura 7 - Estrutura do sistema de irrigação: (a) caixa d´água de quinhentos litros; (b) tubulação de polietileno, registros e motobomba KSB – C500 N; (c) registros de controle de vazão para cada três UE com os mesmos tratamentos e (d) painel de acionamento elétrico da bomba ..... 41
Figura 8 - (1) Gotejadores tipo botão autocompensante (PCJ-CNL) de8 L $h^{-1}$ e (2) divisor de descarga com duas hastes ..... 42
Figura 9 - (a) muda com 125 cm³ de reserva; (b) muda com 93 cm³ de reserva; (c) muda com 73 cm³ de reserva; (d) muda com 56 cm³ de reserva ..... 43
Figura 10 - Chegada e descarregamento das mudas..... 43
Figura 11 - Identificação da unidade experimental ..... 45
Figura 12 - Croqui de distribuição das parcelas com esquema teórico do delineamento e arranjo estatístico ..... 46
Figura 13 - Croqui de distribuição das parcelas com esquema prático e/ou real do delineamento e arranjo estatístico..... 47
Figura 14 - Retirada das amostras de solo para quantificação da umidade, pela metodologia gravimétrica ..... 49
Figura 15 - (a) e (b) Exemplo de instalação da sonda de TDR, (c) reflectômetro TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) e (d) disposição da sonda de TDR nos tratamentos..... 50

Figura 16 - (a) tubos com a tela na extremidade inferior e manta de bidim cortadas; (b) saturação com água dos tubos de PVC; (c) leitura da constante dielétrica através da TDR; (d) pesagem do cilindro ..... 51
Figura 17 - Estação meteorológica no interior da casa de vegetação ..... 52
Figura 18 - Profundidade de instalação e posicionamento dos tensiômetros nas caixas ..... 53
Figura 19 - Tensiômetros instalados no tratamento E1 ..... 54
Figura 20 - Identificação foliar do "sistema Kuijper" ..... 56
Figura 21 - (a) plantas consideradas mortas; (b) (c) parcelas avaliadas no dia 31 de julho de 2013 com sinais de sobrevida (d) avaliador ..... 57
Figura 22 - Fotos ilustrativas do momento da colheita, secagem para determinação do peso seco e pesagem de cada planta em balança de precisão ..... 58
Figura 23 - Dados diários das variáveis meteorológicas; temperatura média (T), radiação solar (RS), umidade relativa média (UR) e da evapotranspiração de referência x 10 (ETo) estimada ..... 59
Figura 24 - Evolução da evapotranspiração acumulada em mm (EToAc) ..... 60
Figura 25 - Resultados da umidade gravimétrica com base peso seco ($g.g^{-1}$) média das três repetições dos tratamentos 17 a 32 (E5, E6, E7 e E8) ..... 61
Figura 26 - Equação de regressão polimonial para determinar a correlação do processo de calibração da TDR para esse tipo de solo ..... 62
Figura 27 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 1 com os tratamentos de VS 1 (56 cm³), 2 (73 cm³), 3 (93 cm³) e 4 (125 cm³) ..... 63
Figura 28 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 2, com os tratamentos de VS 5 (56 cm³), 6 (73 cm³), 7 (93 cm³) e 8 (125 cm³) ..... 64
Figura 29 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 3, com os tratamentos de VS 9 (56 cm³), 10 (73 cm³), 11 (93 cm³) e 12 (125 cm³) ..... 64
Figura 30 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 4, com os tratamentos de VS 13 (56 cm³), 14 (73 cm³), 15 (93 cm³) e 16 (125 cm³) ..... 65
Figura 31 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 5, com os tratamentos de VS 17 (56 cm³), 18 (73 cm³), 19 (93 cm³) e 20 (125 cm³) ..... 66
Figura 32 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 6, com os tratamentos de VS 21 (56 cm³), 22 (73 cm³), 23 (93 cm³) e 24 (125 cm³) ..... 67
Figura 33 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 7, com os tratamentos de VS 25 (56 cm³), 26 (73 cm³), 27 (93 cm³) e 28 (125 cm³) ..... 67

Figura 34 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 8 com os tratamentos de VS 29 (56 cm³), 30 (73 cm³), 31 (93 cm³) e 32 (125 cm³)..... 68
Figura 35 - Planta considerada morta, apresentando sinais de rebrotação após aplicação de lâmina de 30 mm de irrigação..... 72
Figura 36 - Exemplo de planta única sobrevivente ao estresse hídrico severo (E7), permitindo maior exploração radicular ..... 72

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado das análises químicas para cada bloco ..... 40
Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica do solo em camadas com espessura de 10 cm ..... 41
Tabela 3 - Definição dos códigos de acordo com os volumes dos tratamentos e as estratégias de irrigação que foram empregadas em cada um deles ..... 44
Tabela 4 - Estratégias de irrigação considerando intervalos de EToAc pré-estabelecidas ..... 45
Tabela 6 - Esquema de distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para as fontes de variação, de acordo com o delineamento experimental e o arranjo de distribuição dos tratamentos ..... 48
Tabela 7 - Quadro de análise de variância para as características iniciais das plantas dos diferentes volumes de substrato ..... 69
Tabela 8 - Análise de médias dos parâmetros das plantas antes do plantio, de acordo com a bandeja utilizada no transplantio das mudas ..... 69
Tabela 9 - Quadro de análise de variância para taxa de morte para cada nível de evapotranspiração acumulada (EToAc) após plantio (73,7 mm, 110,8 mm, 150,4 mm e 206,6 mm) ..... 70
Tabela 10 – Teste de Médias para porcentagem de plantas mortas (%) no desdobramento estratégia dentro de VS para os períodos de avaliação 73,7 mm, 110,8 mm, 150,4mm e 206,6 mm de Evapotranspiração Acumulada (EToAc) ..... 71
Tabela 11 - Quadro de análise de variância para peso de matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP) ..... 73
Tabela 12 – Teste de Médias para blocos na característica números de perfilhos ..... 74
Tabela 13 - Teste de Médias para número de perfilhos (NP) e matéria seca total (MST) pelo método de Teste Tukey ..... 75
Tabela 14 - Teste de Médias para número de perfilhos (NP) e matéria seca total (MST) pelo método de Teste Scott-Knott ..... 75
Tabela 15 - Quadro de análise de variância para peso matéria seca (g) de bainha+colmo do colmo primário, matéria seca de bainha+colmo dos perfilhos; matéria seca de folhas do colmo primário; matéria seca de folhas dos perfilhos ..... 76
Tabela 16 - Quadro de análise de variância para número de folhas (NF) e extensão máxima do colmo primário (EMCP) ..... 77

Tabela 17 - Teste de Médias para extensão máxima do colmo pelos métodos de Teste Tukey e Teste Scott-Knot..... 77
Tabela 18 - Teste de Médias para extensão máxima do colmo pelo método de Teste Scott-Knot ..... 77
Tabela 19 - Teste de Médias consolidada para as principais características analisadas (porcentagem final de plantas mortas, números de perfilhos, peso da matéria seca total e extensão máxima do colmo primário.....80

# 1 INTRODUÇÃO

Observando o atual cenário do setor sucroenergético do Brasil, que é contextualizado por mais de 500 anos da cultura da cana-de-açúcar, verifica-se uma deficiência de aplicação da multidisciplinaridade no setor produtivo, no sentido de entender melhor a relação solo-água-planta-atmosfera desta cultura.

Sabe-se que toda usina de cana-de-açúcar é abastecida, em sua maioria, pela matéria prima, cana de açúcar, cuja oferta para moagem é determinada pela interação entre o plantel de variedades e os diferentes tipos de ambientes de produção encontrados nas áreas cultivadas ao redor da usina. Dessa forma, de nada adianta uma indústria processadora de cana-de-açúcar estar preparada para a produção de toneladas de açúcar, milhares de litros de álcool, milhares de mega-watts de energia elétrica, se os resultados de produção e produtividade agrícola esperadas no campo forem aquém da capacidade instalada. Utilizando-se uma comparação, é o mesmo que uma usina eólica instalada em um local onde não há vento para movimentação de suas turbinas. Entende-se, então, que o manejo de técnicas agrícolas proporcione condições para a relação solo-água-planta-atmosfera, que resultem em índices de produtividade que garantam a máxima capacidade de moagem (ou dela se aproxime) de cada usina de cana-de-açúcar.

Embora a cana-de-açúcar seja cultivada em diferentes regiões do Brasil, sabe-se que em qualquer desses lugares existe um período de safra e que, para cada período, é necessário que o campo forneça para a indústria variedades que, quando colhidas, se encontrem em seu estádio fenológico que garanta maior produção. Assim, as variedades se dividem de acordo com suas características de maturação, ou seja, acúmulo de sacarose em: (i) precoces, colhidas no início de safra, (ii) médias, colhidas no meio da safra, e (iii) tardias, colhidas ao final da safra. Além disso, elas devem ser distribuídas em ambientes aos quais melhor se adaptem, garantindo, sobretudo, um abastecimento logístico no momento da colheita, para que não falte matéria-prima para a indústria.

Contudo, observa-se que as decisões quanto a técnicas de manejo dependem primeiramente do manejo varietal adotado, a partir do conhecimento das características agronômicas das variedades, a fim de atender às condições citadas anteriormente.

Em posse das informações cabíveis, um grupo técnico define o planejamento dos plantios para substituição de canaviais com baixa produtividade e plantio de novas áreas, também chamadas de áreas de expansão. Considerando-se a cultura de cana-de-açúcar um cultivo semi-perene, segundo Milanez et al. (2012), a atual idade média de corte está em torno de 3,5 anos, quando o cenário ideal é de 3,1 anos.

Por outro lado, a consultoria Datagro afirma que a idade média dos canaviais seria de 2,7 anos, sendo que essa renovação ocorre em virtude do decréscimo da produtividade safra após safra, justificando esta operação que, por sua vez, corresponde a 23,5 % do custo de produção, considerando-se cinco cortes (ASSOCIAÇÃO RURAL DOS FORNCEDORES E PLANTADORESDE CANA DA MÉDIA SOROCABANA - ASSOCANA, 2012). Sendo assim, é necessário utilizar técnicas eficientes de plantio, uma vez que o investimento inicial no canavial será diluído ao longo dos anos e, consequentemente, um canavial com um número maior de safras mais lucrativo será.

A operação de plantio de cana-de-açúcar é definida de acordo com a técnica de multiplicação a ser utilizada. Por se tratar de uma cultura cuja multiplicação do material é efetuada através da própria estrutura vegetativa da planta, utiliza-se como fonte de material um campo previamente cultivado de cana-de-açúcar, chamado de viveiro. Deste viveiro, pode-se retirar mudas manualmente ou através de colhedoras adaptadas para seu corte. Assim, as mudas cortadas (manual ou mecanicamente) poderão ser plantadas através de sistemas manuais, semi-mecanizados e mecanizados.

Entretanto, outras técnicas de multiplicação de cana-de-açúcar são conhecidas e utilizadas pelo setor, a fim de aferir uma maior taxa de proliferação. Destaca-se entre elas a cultura de tecidos, especificamente a micropropagação ou propagação *in vitro*. Segundo Toledo, 2011 a aplicação da micropropagação na produção de cana-de-açúcar, além de atuar na melhoria da qualidade do produto, possibilitando a propagação de plantas isentas de viroses e outras doenças, promove a manutenção das características da planta matriz e a otimização da produtividade, proporcionando a multiplicação rápida e em grande escala das mudas. Porém, atualmente essa técnica não é operacionalmente viável em 100% das área de plantio de cana-de-açúcar de uma usina, pois trata-se de um processo de produção efetuado por empresas prestadoras desse serviço, com baixa oferta anual de mudas, devido à capacidade produtiva instalada. Então, utiliza-se essa técnica para a instalação de viveiros chamados pré-primários, que serão fonte de mudas para outros viveiros, até atingirem áreas comerciais.

Quando plantadas, as mudas de micropropagação já possuem área foliar e um sistema radicular contido em uma reserva de substrato, enquanto as mudas por partes vegetativas de cana-de-açúcar possuem somente a probabilidade de gerar uma nova planta, caso encontrem condições favoráveis para tanto. Para as mudas micropropagadas, a presença de folhas na relação solo-planta-atmosfera resulta em processo inevitável e imediato de evapotranspiração. Portanto, caso não haja água disponível no solo ou na reserva do substrato, que garanta a sobrevivência das mudas, haverá perdas irreversíveis na população de plantas (*stand*) e prejuízos financeiros.

Dada essa problemática face ao setor produtivo, que busca novas alternativas de plantio para renovar áreas que apresentem queda de produtividade, e para que também sejam introduzidas, de forma mais rápida, novas variedades com potenciais produtivos superiores, este trabalho este trabalho tem como hipótese principal a existência de uma relação ótima entre o volume de substrato (VS) das mudas micropropagadas de cana-de-açúcar, o manejo da irrigação com lâmina de 30 mm (carretel enrolador) e o nível de evapotranspiração local, de maneira tal que seja assegurado um bom stand de plantas na área, com o mínimo de aplicação de água (irrigação).

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Histórico e panorama atual da cana-de-açúcar no Brasil

Acredita-se que a cana-de-açúcar tenha começado a ser consumida por volta de 6000 a.C., na Nova Guiné, na Ásia, da forma mais natural possível: a cana era mascada e o seu caldo, sorvido. Nessa época, foi descoberta a forma de extrair a açúcar da cana e transformá-lo em um produto sólido, semelhante à rapadura. Posteriormente, o processo de extração de açúcar foi aperfeiçoado e o produto passou a ser produzido em pequenos grãos cristalizados que eram fáceis de guardar e transportar. Da Índia, o produto foi levado pelas tropas de Alexandre, o Grande, para a Grécia e para Roma. Monges budistas levaram o açúcar para a China e, pelas mãos de mercadores, acabou chegando ao Oriente Médio (PROJETO AGORA, 2014).

Observando a origem da palavra "açúcar" que é árabe - al-sukkar - é possível verificar também o caminho percorrido pela cana-de-açúcar. Os árabes, por sua vez, trouxeram a palavra dos indianos, que utilizam o termo "sharkara", que significa "areia grossa" em sânscrito, menção ao aspecto do açúcar produzido no início da utilização da cana-de-açúcar como matéria prima deste produto (UNIÃO DOS PRODUTORES DO OESTE PAULISTA - UDOP, 2014).

No século 8 d.C., com a conquista da Península Ibérica pelos árabes, que aperfeiçoaram o processo de fabricação do açúcar, o produto chegou às mesas da Espanha e de Portugal e daí para outros países. Todavia, seu uso foi bastante limitado, pois era uma especiaria rara e cara. Quando as naus de Cristóvão Colombo chegaram ao Novo Mundo, os colonizadores descobriram terras e clima ideais para cultivar a cana e produzir açúcar, produto chamado na época de "ouro branco", por causa de seu alto valor no mercado. A descoberta da América permitiu a expansão da indústria e do comércio açucareiro em níveis jamais vistos anteriormente, transformando o açúcar em um produto negociado internacionalmente (PROJETO AGORA, 2014).

Atualmente, cerca de 110 países cultivam a cana-de-açúcar, totalizando, em 2013, uma produção estimada de, aproximadamente, 1,8 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar. Todavia, a cana-de-açúcar ocupa uma área relativamente pequena em termos globais: 24,38 milhões de hectares. Isso é muito pouco quando comparado, por exemplo, à área ocupada pelo arroz (158,96 milhões de hectares) e pelo milho (161,02 milhões de hectares) (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2014).

Hoje o Brasil, com 9.616.615 hectares de área plantada com cana-de-açúcar, é considerado o maior produtor. Neste sentido, qualquer motorista que trafegue pelo estado de São Paulo através das principais rodovias no sentido interior observará a importância da cultura da cana-de-açúcar na vasta extensão de áreas cultivadas (5.172.611 hectares). Embora esse estado represente 56% da produção nacional, outros estados aparecem em destaque, entre eles Goiás e Minas Gerais, com 8,9% e 8,8% da área plantada, ocupando o segundo e terceiro lugares no ranking, ambos com potencial de aumento de produção e área plantada. Destacam-se também os estados de Mato Grosso do Sul (6,3%) e Mato Grosso (2,7%), quarto e quinto colocados no ranking de produção. Embora o Paraná, atualmente com 6,7%, apresente uma parcela expressiva no mercado, não sinaliza aumento expressivo de área plantada, mesmo sendo passível de aumento de produtividade (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2014).

Considerando a somatória de produção dos estados do norte e nordeste, obtém-se 9% da produção nacional, sendo o estado de Alagoas o maior produtor dessa região e o do Tocantins uma promessa de área de expansão (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2014).

Com relação à produtividade, observa-se na Figura 1, que não houve nos últimos anos, um acréscimo substancial, ocorrendo quedas significativas, como no ano de 2010, em decorrência de diversos fatores, ao mesmo tempo em que houve um aumento expressivo nas publicações de trabalhos relacionados à cana-de-açúcar (Anexo).

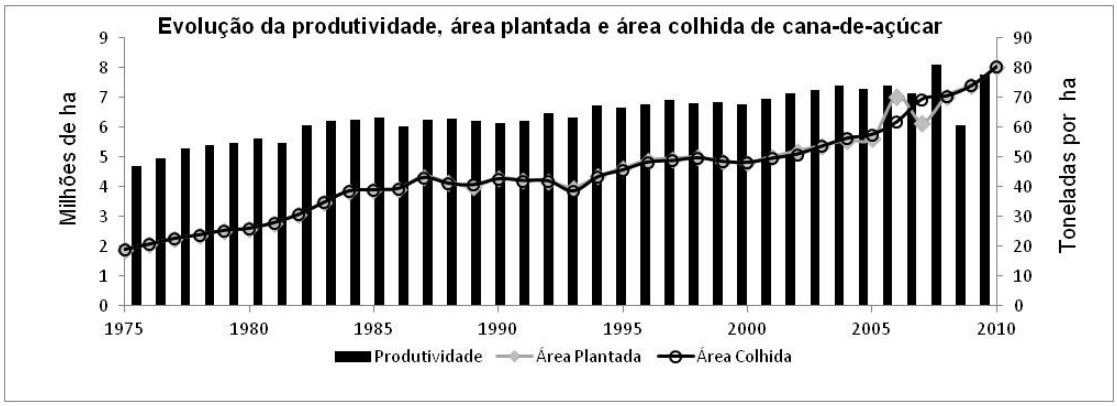



Figura 1 - Evolução da área plantada, área colhida de cana-de-açúcar e produtividade no Brasil, de 1975 a 2010 (**UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR -** UNICA, 2012)

Contudo, ao longo dos anos a cultura da cana-de-açúcar sofreu profundas mudanças, dada a necessidade de adaptar-se a novas regiões produtoras, além de proporcionar maior produtividade e resistência a determinadas doenças. Assim, a partir do início do século passado os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no mundo foram

fundamentais para o lançamento de novas variedades visando atender às necessidades do mercado sucroenergético.

## 2.2 Melhoramento genético de cana-de-açúcar

O objetivo do melhoramento genético de cana-de-açúcar, da mesma forma que ocorre com outras culturas, é introduzir características fenotípicas que atendam determinadas demandas de mercado. No caso de cana-de-açúcar, as primeiras hibridações foram realizadas em Java e em Barbados, em 1888, seguindo as observações, tanto em Java (1858), como em Barbados (1859), quanto à capacidade da cana-de-açúcar de produzir semente viável (STEVENSON, 1965).

Através de uma metodologia de seleção massal, Bressiani e Landell (2007) resumem o processo em cinco etapas. Na unidade de seleção da etapa inicial, o genótipo é representado por uma única planta (poucos colmos em uma touceira). Este genótipo encontra-se repetido uma só vez e em um único ambiente. Nas etapas subseqüentes o tamanho da parcela aumenta como também aumenta o número de repetições e o número de locais até chegar à etapa final, em que cada genótipo é plantado em parcelas grandes, com algumas repetições, em vários locais agrupados nos vários ambientes de produção e caracterizados em, no mínimo, duas diferentes épocas de corte. De forma inversa, a quantidade de genótipos em seleção é drasticamente reduzida entre as etapas de seleção.

Bressiani e Landell (2007) ressaltam que, considerando o número de etapas e de cortes em cada etapa, observa-se que o processo de seleção clonal leva cerca de nove anos para identificar "o melhor genótipo". É justamente nesta estrutura, que esforços vêm sendo aplicados no sentido de aumentar a eficiência do processo seletivo e, conseqüentemente, reduzir sua duração pela eliminação de uma ou mais etapas.

Identificado "o melhor genótipo", o desafio enfrentado pelo setor sucroenergético é introduzi-lo no plantel varietal das usinas e multiplicá-los até atingirem áreas de produção, ou seja, que sejam colhidos e levados para a indústria para o processamento. Esta afirmação é evidenciada através dos censos varietais, onde a grande maioria das variedades amplamente plantadas possui sua data de lançamento no mercado, superior a quinze anos.

De acordo com o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares - SNPC, em 2014 existiam 112 cultivares de cana-de-açúcar registrados, embora alguns cultivares sejam protegidos apenas no intuito de assegurar propriedade intelectual. De 1995 a 2013, foram lançadas comercialmente cerca de 101 novas variedades. Esta informação tende a levar à

conclusão de que o setor trabalha com uma oportunidade de escolha muito ampla. Porém, de acordo com censo varietal do Centro de Tecnologia Canavieira - CTC de 2012, 97% da área recenseada naquele ano eram representados por apenas sete diferentes variedades. Destaque para variedades RB867515, com 41%, SP81-3250, com 23% e RB855453, com 13% da área recenseada.

Evidentemente que, para a escolha por uma nova variedade, considera-se primeiro critérios técnicos, tais como: sanidade, produção, adaptabilidade aos tipos de solo da usina, entre outros. Essa escolha por determinadas variedades resulta no chamado manejo varietal da usina.

Segundo Landell et al. (2005), o manejo varietal em cana-de-açúcar é uma estratégia que procura explorar os ganhos gerados da interação genótipo versus ambiente, ou seja, tem como objetivo alocar diferentes cultivares comerciais no ambiente que proporcione a sua melhor expressão produtiva no contexto considerado. Essa visão engloba um conhecimento especializado sustentado por elementos tácitos somados às informações geradas em um nicho específico. A qualificação do ambiente de produção fornece material essencial para essas interpretações, proporcionando a adoção de estratégias de manejo que reúnam ambientes mais homogêneos, a partir da estratificação de sub-regiões equivalentes. A estratificação é um procedimento útil, mas restrito em sua eficácia, em razão da ocorrência de fatores incontroláveis nos ambientes, como temperatura e chuvas (LANDELL, 2005).

Contudo o manejo definirá quais serão as variedades que serão colhidas nos próximos anos, através de uma estratégia de instalação de viveiros e multiplicações para atingirem áreas de produção.

## 2.3 Plantio de viveiros de cana-de-açúcar

De acordo com Gerald e Lee (2011), a falta de um processo de multiplicação para a produção de mudas sempre foi um sério problema para os programas de melhoramento de cana-de-açúcar. Geralmente, após 10 a 15 anos de trabalho, para se completar um ciclo de seleção em cana-de-açúcar, a variedade melhorada só pode ser plantada comercialmente (área de produção), vários anos depois, quando mudas suficientes tiverem sido produzidas e tornadas disponíveis. Isso constitui uma séria perda econômica, uma vez que se deixa de alcançar a maior lucratividade que seria obtida em decorrência do plantio da nova variedade, mais cedo. Além disso, é bem possível a entrada, mais cedo, da nova variedade em seu ciclo

degenerativo, devido à contínua contaminação pelas doenças sistêmicas, o que frequentemente ocorre durante os estágios de sua multiplicação em campo aberto.

Do mesmo modo, por se tratar de uma cultura perene, a cana-de-açúcar possui a característica de rebrota. Com isso, após um primeiro ciclo fenológico e, com sua colheita, inicia-se outro ciclo, podendo haver também outros subsequentes. Informações do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (2013) relatam que a idade média dos canaviais brasileiros está em 3,3 anos.

Segundo dados da ASSOCANA (2014), o custo de plantio de um hectare de cana-de-açúcar, publicado em fevereiro de 2013, foi de R$ 4239,80 (quatro mil duzentos e trinta e nove reais e oitenta centavos). Este custo será diluído ao longo dos demais ciclos; assim, a decisão da variedade e, sobretudo, a origem da muda, serão fatores determinantes para o sucesso e maior estabilidade da produção ao longo dos anos.

Portanto, para atingir uma alta capacidade produtiva de uma usina, é necessário que se utilizem melhores procedimentos de multiplicação, de modo que quantidades suficientes das novas variedades sejam obtidas rapidamente, e o estado saudável da nova variedade seja preservado. Dentre os procedimentos de multiplicação que se destacam, seguindo as premissas acima apresentadas, está a cultura de tecido ou micropropagação. As mudas originárias deste processo serão plantadas nos chamados viveiros pré-primários, que serão fonte de material de propagação vegetativa (colmos de cana-de-açúcar) para a formação dos viveiros primários, fonte de mudas para viveiros secundários ou áreas de produção.

## 2.4 Processo de micropropagação de cana-de-açúcar (Biofábrica)

Segundo Alves et. al, (2008), o princípio da cultura de tecidos baseia-se na teoria da totipotência, segundo a qual os seres vivos têm a capacidade de regenerar organismos inteiros, idênticos à matriz doadora, a partir de células únicas. Os mesmos autores afirmam que a micropropagação é a propagação fiel de um genótipo, por meio das técnicas da cultura *in vitro.* Essa técnica é empregada em locais que garantam controle de esterilidade e rastreabilidade, chamados biofábrica.

Segundo Gerald e Lee (2011). biofábrica é um novo conceito de produção de plantas. Como o próprio nome indica, é uma fábrica que utiliza métodos de biotecnologia para a produção de plantas. Para se encaixar neste conceito, o processo de produção precisa ser bem definido e tratado com tecnologia adequada, de modo que permita a produção em escala

industrial (comercial). No caso de cana-de-açúcar, plântulas podem ser produzidas em massa, através do método de cultura de tecido (micropropagação).

Toledo (2011) explica que o processo de micropropagação de mudas de cana-de-açúcar pode ser dividido em 3 etapas principais. A primeira começa no jardim de matrizes, onde as plantas são indexadas para as principais doenças de cana-de-açúcar e depois, cultivadas. Os colmos selecionados das matrizes são coletados e cortados em mini-toletes, que são tratados termicamente, plantados e acondicionados numa estrutura denominada UTI (Unidade de Termoterapia Intensiva) à 35°C, para o brotamento rápido das gemas. As brotações são retiradas dos mini-toletes, cortadas (explantes) e desinfectadas. Na segunda etapa é realizada a extração do ápice caulinar proveniente do explante. Esse ápice caulinar é colocado em meio de cultura para propiciar seu desenvolvimento. Após o desenvolvimento do ápice, quando as plantas já formaram touceiras, ocorre a multiplicação, processo que se desenvolve por um tempo, durante diversas fases de subcultivo, sendo que o número de plantas obtidas rege a realização da etapa posterior, o enraizamento. Na terceira etapa o material vegetal enraizado *in vitro* é individualizado, plantado e aclimatizado em estufa protegida. Após aclimatação, o material é encaminhado para estufa de rustificação, onde permanecerá até ser transportado e plantado no campo.

Quando plantadas, as mudas de micropropagação, ao contrário das mudas de partes vegetativas de cana-de-açúcar, já possuem área foliar e um sistema radicular contido em uma reserva de substrato. A presença de folhas na relação solo-planta-atmosfera das mudas micropropragadas resulta em processo imediato de evapotranspiração após o plantio e, caso não exista água disponível no solo ou na reserva do substrato que garanta o pegamento das mudas, as plantas passarão por um processo de estresse, pelo déficit hídrico, ocasionando perdas irreversíveis.

Outra metodologia que se destaca da no plantio de viveiros primários de cana-de-açúcar é a Muda Pré-brotada (MPB). Essa metodologia de consiste na extração da gema do colmo da cana-de-açúcar e o seu plantio em um tubete para sua previa germinação ao plantio no campo. A MPB se assemelha ao processo de microprogação no que se refere ao estágio fenológico da plântula, uma vez que ambas são plantadas no campo já com uma área foliar semelhante. Logo assim, em ambas as metodologias no momento do plantio a plântula já estará evapotranspirando e consequentemente demandando água do solo.

Com isso, é preciso entender os estágios fenológicos da cana-de-açúcar, para manejar aqueles fatores que proporcionarão melhor qualidade nas mudas dos viveiros.

## 2.5 Desenvolvimento fenológico de cana-de-açúcar

A fenologia das plantas define as fases nas quais a cultura sofre alterações morfológicas ao longo do tempo. Neste sentido, os autores, tais como Gascho e Shih (2003), Câmara (1993) e Wiendenfeld et al. (2001), dividem o ciclo fenológico da cana-de-açúcar em quatro estágios. Todos esses autores consideram as mesmas diferenciações morfológicas para mudança de estágio. Wiendenfel et al. (2001), através da Figura 2, demonstram as fases de crescimento da cana-de-açúcar: estabelecimento (germinação e emergência), vegetativo (perfilhamento e estabelecimento de copa), grande crescimento e maturação.

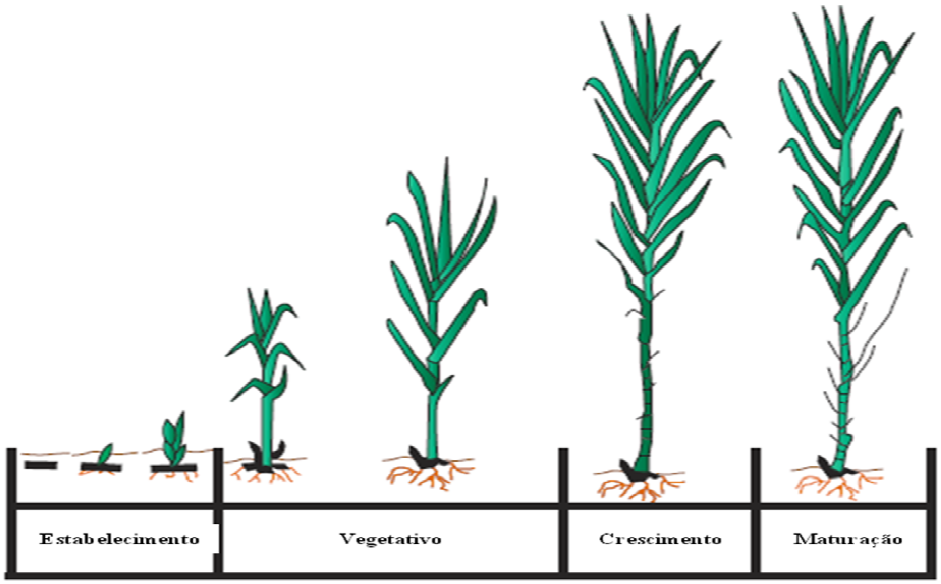



Figura 2 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar. Adaptada de Wiedenfeld et al. (2001)

Segundo Câmara (1993), é o segundo estágio fenológico (perfilhamento) que permitirá o estabelecimento da cultura em condições de campo e fornecerá às touceiras o número de colmos adequados à produção. Da mesma forma, Wiendenfeld et al. (2001), afirmam que, para assegurar altos rendimentos, produtores devem fornecer água em volume adequado para a cultura de cana-de-açúcar durante os estágios vegetativo e crescimento. Além disso, sugerem que os produtores usem dados de evapotranspiração de referência ou o Tanque de evaporação classe A, para estimar os requerimentos de água da cultura.

Considerando as etapas de produção de mudas de cana-de-açúcar através da micropropagação, com o objetivo de implantação de viveiros, considera-se que, quando plantadas em campo, as mudas já estarão estabelecidas. Com isso, as plantas estarão em seu ciclo vegetativo. Entretanto, o sistema radicular sofrerá um estresse inicial, uma vez que as

condições de manejo das mudas anteriores eram em cultivo protegido e com irrigação e fertirrigação diárias.

## 2.6 Irrigação de viveiros de cana-de-açúcar

O objetivo de um viveiro de cana-de-açúcar é fornecer mudas de qualidade, no momento adequado, e em quantidade que atenda ao planejamento do manejo varietal da usina. Por outro lado, nas áreas comerciais, a produtividade é o foco. Pode-se afirmar ainda que quanto maior o número de gemas viáveis para plantio fornecidas por este viveiro, seu objetivo estará sendo cumprido.

Pouco se encontra na literatura sobre manejo de irrigação para condução de viveiros de cana-de-açúcar especificamente. De maneira geral, para a cultura de cana-de-açúcar, Rezende e Andrade Junior (2012) consideram três tipos de irrigação: (i) Irrigação plena: quando o objetivo da irrigação é aumentar a produtividade da lavoura, aplicando-se lâminas acumuladas que podem superar os 450 mm/ano, sempre mantendo a cultura suprida hidricamente; (ii) Irrigação com déficit: consiste em aplicar lâminas menores que, acumuladas, chegam de 200 a 300 mm/ano, podendo ocorrer déficit em fases de menor sensibilidade; (iii) Irrigação de salvamento ou complementar: é a irrigação que visa o uso da água apenas por um período curto ou estágio de cultivo, consistindo em aplicar lâminas de 40 a 80 mm/ano, com intuito de “salvar” a lavoura.

Após o período vegetativo, a disponibilidade hídrica também deve ser mantida, uma vez que se inicia o crescimento dos colmos. Segundo Blackburn (1984), o colmo é composto por sucessões de entrenós desenvolvidos durante seus estádios fisiológicos e fica acima do solo. Os nós, que consistem em uma gema lateral situada junto à inserção foliar contendo primórdios radiculares e anel de crescimento, são normalmente espaçados em intervalos de 0,15 a 0,25 m, sendo mais espaçados na parte superior do colmo, onde ocorre a elongação (BLACKBURN, 1984). Segundo Marin et al (2009), a distância entre os nós é regulada pelo estresse hídrico e temperatura do ar, aos quais a planta está sujeita ao longo do ciclo.

De modo geral, quanto às necessidades hídricas da cana, é preciso garantir valores de 1.200 a 1300 milímetros anuais, distribuídos de maneira uniforme durante o período vegetativo (MARIN, 2008). Barbosa (2010) constatou que os valores de porcentagem de touceiras vivas, quando relacionados com o BH (balanço hídrico), seguem uma distribuição sigmóide, permitindo a estimativa da porcentagem de touceiras vivas.

A Figura 3 (BARBOSA, 2010) representa o diagrama de dispersão e a representação gráfica da equação de ajuste para a porcentagem de touceiras vivas. Nota-se que para o intervalo de -30,0 a – 10,0 mm de BH os valores de touceiras vivas se alteram bruscamente, com valores de 4,7% de touceiras vivas para -30,0 mm, e 89,4% para -10,0 mm.

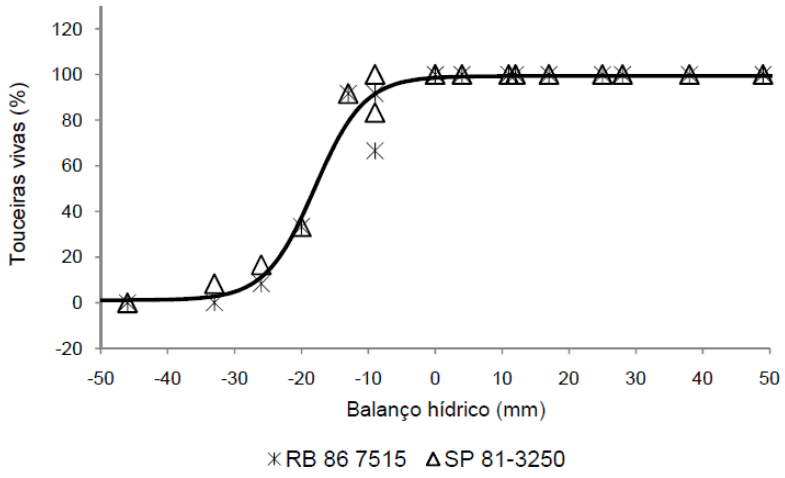



Figura 3 – Representação gráfica da equação de ajuste entre quantidade de touceiras vivas e balanço hídrico para ambas as variedades (BARBOSA, 2010)

Desta forma, deve-se observar o balanço hídrico da localidade, para definição das estratégias de irrigação, em função da época de plantio, tipo de solo e variedade escolhida. Conforme ressaltam Marin et al. (2009), ao longo do ciclo da cana o consumo hídrico é diferenciado entre os estádios de desenvolvimento, o que é função da área foliar, do estádio fenológico e da densidade do sistema radicular.

Assim, considerando viveiros de cana-de-açúcar de mudas de micropropagação ou outra metodologia pela qual a planta já possua parte aérea, deve-se adotar um tipo de irrigação que permita o desenvolvimento vegetativo das plantas e crescimento dos colmos, deixando disponibilidade hídrica no solo positiva durante estes períodos, coincidindo também, com os períodos de maiores temperatura e fotoperíodo.

## 2.6 Respostas da planta de cana-de-açúcar ao déficit hídrico

Segundo Mass e Hoffman (1977), a cana-de-açúcar é uma espécie moderadamente sensível ao estresse hídrico. Porém, o estresse hídrico severo reduz significativamente a condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida e a produtividade da água, independentemente da variedade (GONÇALVES et al., 2010).

Desta forma, Guimarães (2011) concluiu que períodos de supressão de rega de três dias não são suficientes para induzir o estresse hídrico e, para cana-de-açúcar, o período de 20 dias de supressão de rega permitiu respostas para identificar as diferenças morfológicas e fisiológicas dentro do grupo de variedades estudado pelo autor.

Segundo Barbosa (2010), os mecanismos efetivos de resistência à seca pela cultura de 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 com a exploração mais efetiva da água disponível no solo (aprofundamento radicular), de modo que "evitem" a seca e não necessariamente "resistam" a ela.

Contudo, Mauri (2012) observou, em seu experimento, quanto a avaliações aos 60 e 90 DAP, de maneira geral, que a redução da profundidade do solo e a elevação do nível de déficit hídrico causam redução significativa na extensão do colmo primário. O mesmo autor constatou que, após o retorno da irrigação para os tratamentos de déficit mais acentuados, as folhas mais jovens, localizadas próximo ao cartucho, eram as primeiras a retomar o crescimento, enquanto as mais velhas praticamente não se alteravam, ocorrendo, simultaneamente, a emissão de novas folhas.

De fato o estresse hídrico causará efeitos reversíveis e irreversíveis no desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, ficando a cargo do tomador de decisão das áreas de cultivo dessa cultura, utilizar-se do manejo de irrigação mais eficiente e, além disso, adotar outras técnicas agronômicas que favoreçam a disponibilidade de água no solo para as plantas.

## 2.7 Utilização do gel hidrorretentor

Além da irrigação para garantir a sobrevivência das mudas com parte aérea estabelecida, a utilização de um polímero hidrorretentor pode incrementar a porcentagem de sobrevida das mudas. Embora a utilização de polímeros hidrorretentores na cultura de cana-de-açúcar seja uma técnica pouco difundida, podemos encontrar trabalhos com mudas de eucalipto e café.

Segundo Garcia et al. (2011), este polímero é constituído de partículas à base de poliacrilamida, com diferentes características granulométricas, específicas para cada condição de aplicação. Com a imersão em água, absorvem em média de 200 a 400 vezes o seu peso, aumentando o seu volume em até 100 vezes. Quando aplicada envolvendo o substrato das

mudas na cova de plantio, esta solução tem capacidade de fornecer água para as raízes por um tempo variável em função das condições climáticas, do solo e da planta.

Da mesma forma, Garcia et al. (2011) afirmam que, em outras culturas (como exemplo, a do eucalipto), polímeros hidrorretentores são utilizados com resultados satisfatórios em muitas regiões, principalmente, naquelas onde a cultura apresenta dificuldades durante a implantação, devido ao clima mais seco e predominância de solos mais arenosos. Oliveira et al. (2004) concluíram que, à medida que aumentaram a concentração do polímero em diferentes tipos de solos, ocorreu maior retenção de água, principalmente nos potenciais matriciais mais elevados.

Com relação à utilização de gel hidrorretentor na instalação de viveiro de cana-de-açúcar, poucos trabalhos são encontrados na literatura. Quanto a outras culturas, Fernandes (2010) utilizou quatro doses de gel hidroretentor (0, 2, 4 e 8 gramas) em mudas de eucalipto e obteve resultados não significativos nas características avaliadas nas plantas. No entanto, esse trabalho não foi conduzido em condições de estresse hídrico. Observou também, para as doses de 4 e 8 gramas, uma maior retenção de umidade na areia (92%) ao longo do período de avaliação.

Nesse sentido, Suriani (2010) em seu trabalho com polímeros em áreas de produção de cana-de-açúcar ,obteve resultados de aumento no número de perfilhos, e maior crescimento vegetativo. Além disso, houve uma correlação positiva entre as doses do polímero hidroretentor com o Açúcar Total Recuperado da área (ATR).

# 3 MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no município de Piracicaba – SP, na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em ambiente protegido (estufa), com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22º 42' 32'' S, longitude 47º 37' 45'' W e altitude de 548 m (Figura 4).

Figura 4 - Localização e vista externa do experimento

A estufa apresentava uma cobertura de filme plástico de polietileno transparente, de 150 µm de espessura e laterais fechadas, com tela tipo sombrite, com 30% de interceptação. As unidades experimentais (parcelas) foram distribuídas em uma área útil de aproximadamente 160 $m^2$, com base em 96 caixas de cimento amianto de 100 L, com dimensões de 60 cm x 40 cm x 45 cm, distribuídas em quatro faixas espaçadas de 80 cm entre linhas e 50 cm entre caixas, mantendo uma distância de 100 cm das laterais da estufa, e suspensas ao solo por dois blocos de concreto (Figura 5).

O preenchimento das 96 caixas de amianto ocorreu nas seguintes etapas (Figura 6): (i) alinhamento das caixas; (ii) colocação de uma camada de aproximadamente 1 cm de pedrisco; (iii) colocação de uma manta de bidim acima do pedrisco; (iv) preenchimento com solo até atingir 40 cm de profundidade. Para garantir que o volume de solo fosse similar em todas as caixas foram realizadas regas periódicas, para acomodar o solo recém-depositado, e novos preenchimentos até que não fosse mais observada variação no volume de solo.

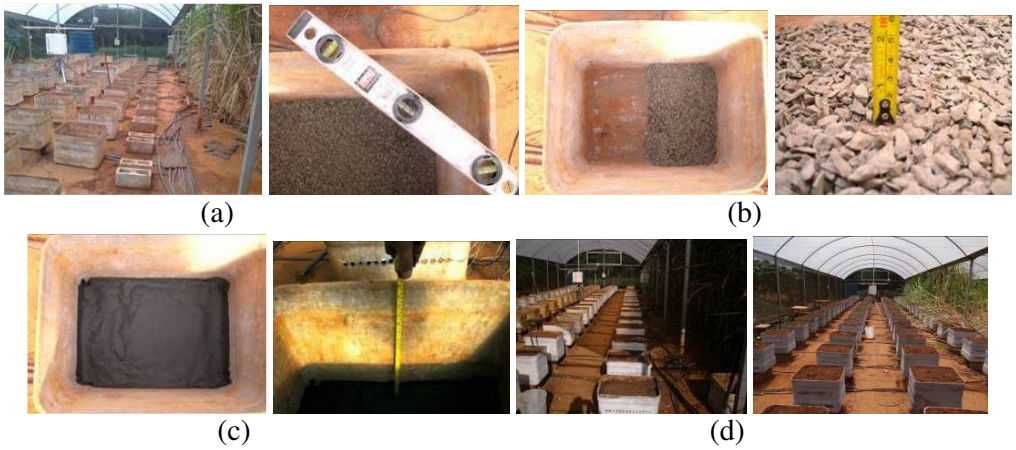



Figura 5 - Etapas do preenchimento das 96 caixas de amianto – (a) alinhamento das caixas; (b) colocação de uma camada de aproximadamente 1 cm de pedrisco; (c) colocação de uma manta de bidim acima do pedrisco; (d) preenchimento com solo até atingir 40 cm de profundidade

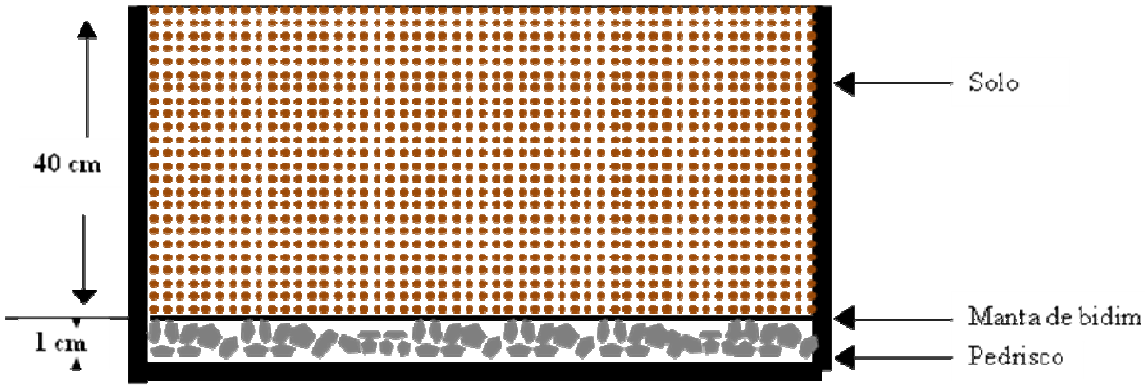



Figura 6 - Esquema resultante das caixas onde as mudas foram plantadas

O solo utilizado no preenchimento das caixas foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco-arenosa. As características químicas foram determinadas por uma amostragem de 0-20 cm e 20-40 cm, de acordo com os blocos que iriam receber os tratamentos, sendo que cada amostra foi composta por uma amostragem de seis unidades experimentais diferentes do bloco. A Tabela 1 demonstra os resultados das análises. As características físicas apresentadas são as mesmas utilizadas por Barbosa, 2010, por se tratar do mesmo solo, e são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Resultado das análises químicas para cada bloco

| Blocos | pH | M.O. | P | S | K | Ca | Mg | H+Al | SB | T | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | (g $dm^{-3}$) | (mg $dm^{-3}$) | | ----------(mmol$_c$ $dm^{-3}$) ---------- | | | | | | % |
| 1 | 5,3 | 7 | 27 | 11 | 1,0 | 20 | 8 | 16 | 29 | 45 | 64 |
| 2 | 5,4 | 5 | 28 | 8 | 1,2 | 20 | 8 | 18 | 29 | 47 | 62 |
| 3 | 5,4 | 5 | 28 | 14 | 1,2 | 19 | 8 | 18 | 28 | 46 | 61 |

Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica do solo em camadas com espessura de 10 cm

| Camada (cm) | $U_{CC}$ | $U_{PMP}$ | CAD (mm) | $D_s$ | $D_p$ | PT (%) | Frações granulométricas | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Areia | Silte | Argila |
| | g $g^{-1}$ | | | g $cm^{-3}$ | | | % | | |
| 0 - 10 | 0,148 | 0,069 | 12,11 | 1,53 | 2,65 | 42,3 | 75,1 | 7,8 | 17,1 |
| 10 - 20 | 0,151 | 0,065 | 12,81 | 1,50 | 2,65 | 43,4 | 74,5 | 8,0 | 17,5 |
| 20 - 30 | 0,151 | 0,065 | 12,81 | 1,50 | 2,65 | 43,4 | 74,5 | 8,0 | 17,5 |
| 30 - 40 | 0,143 | 0,078 | 10,88 | 1,69 | 2,64 | 36,0 | 74,4 | 8,6 | 17,0 |

CC: umidade com base em peso seco na capacidade de campo (correspondente ao potencial mátrico ($\psi_m$) de 4,85 kPa). PMP: umidade com base em peso seco no ponto de murcha permanente (correspondente ao potencial mátrico ($\psi_m$) de 1500 kPa). CAD: capacidade de água disponível. $D_s$: densidade do solo. $D_p$: densidade de partículas do solo. PT: porosidade total do solo

## 3.2 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação era composto pelos seguintes componentes: (i) um reservatório de quinhentos litros, (ii) tubulação de polietileno, (iii) uma motobomba KSB – C500N, (iv) dois filtros de discos, (v) quatro cabeçais com oito registros responsáveis por controlar a vazão de três unidades experimentais (UE) (Figura 7).

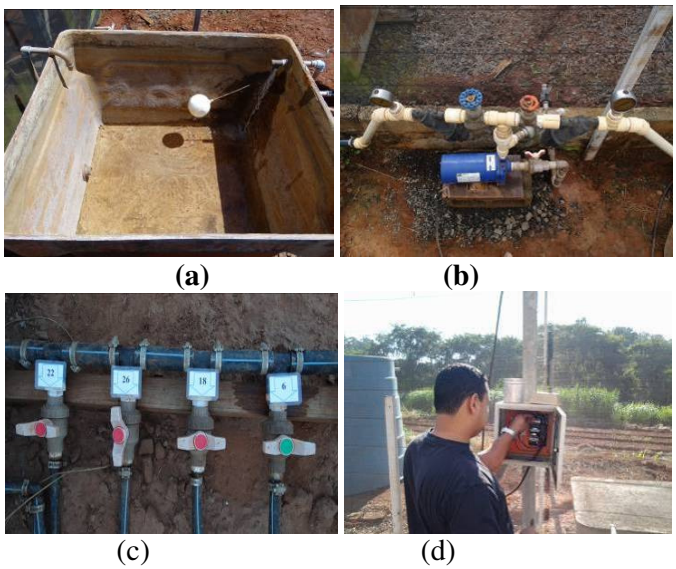



Figura 7 - Estrutura do sistema de irrigação: (a) caixa d´água de quinhentos litros; (b) tubulação de polietileno, registros e motobomba KSB – C500 N; (c) registros de controle de vazão para cada três UE com os mesmos tratamentos e (d) painel de acionamento elétrico da bomba

Em cada parcela foram instalados dois gotejadores tipo botão autocompensante (PCJ-CNL) de 8 L $h^{-1}$ e, para melhor distribuição da vazão de cada gotejador e uniformização da área molhada, foram conectados a um divisor de descarga com duas hastes (Figura 8).

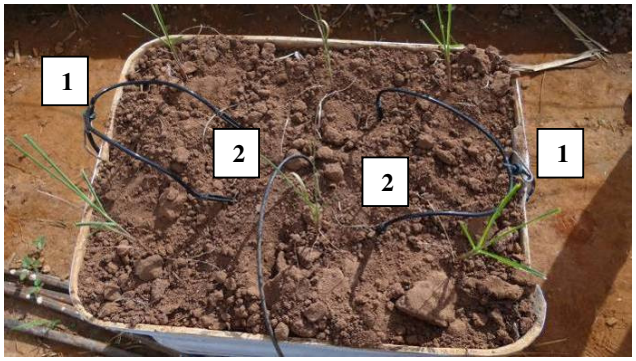



Figura 8 - (1) Gotejadores tipo botão autocompensante (PCJ-CNL) de8 L $h^{-1}$ e (2) divisor de descarga com duas hastes

### 3.3 Variedade e volume de substrato

A variedade de cana-de-açúcar definida para o experimento foi a RB93509, em função da pronta disponibilidade desta variedade pela empresa SBW (Biofábrica) e do interesse da Usina Agro Serra. Segundo o Boletim Técnico da Rede Interinstitucional para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA) de 2003, essa variedade apresenta resistência média à seca, bom perfilhamento na cana planta e cana soca. Apresenta, também, alta velocidade de crescimento e fechamento entre linhas, resultando, em uma produtividade agrícola alta. Nesse sentido, Ferreira et. al (2012), em um trabalho para avaliar variedades de canas-de-açúcar em regime irrigado em relação à radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAint) e à estimativa da fotossíntese bruta (FB) acumulada, verificaram diferença estatística não significativa ($p<0,5$) no índice de área foliar (IAF) entre as variedades RB93509, RB931003, RB7810 e RB92579, considerado um valor médio, mas com os maiores índices de produtividade agrícola. Desta forma, para a escolha desta variedade, foram consideradas as características agronômicas e, principalmente, a disponibilidade de muda.

A SBW do Brasil está localizada no município de Holambra / SP, e tem como principal atividade a micropropagação vegetal (SBW, 2013). As mudas foram produzidas respeitando-se os protocolos de micropropagação de cana-de-açúcar estabelecidos internamente na empresa.

Ao final dos procedimentos de micropopagação, as mudas foram transplantadas em quatro modelos de bandejas preenchidas com substrato, à base de casca de pinus e fibra de coco, sendo adicionada uma solução do polímero hidroretentor Gel Hydroplan na concentração de 5,0 $g.l^{-1}$ misturando-se ao substrato.

As bandejas escolhidas foram as da empresa neozelandesa Transplantsystem Ltda (2013), utilizadas em uma transplantadora automática deste mesmo fabricante, facilitando, assim, a operação de plantio, sendo uma provável opção da Usina Agro Serra para a otimização de seus plantios de viveiro e/ou comercial. As bandejas apresentam quatro opções do volume de substrato, analisadas neste experimento.

- TS48– Dimensões: 385 mm x 289 mm e 100 mm de profundidade, sendo o volume de cada célula: 125 cm³;
- TS45 – Dimensões: 385 mm x 216 mm e 85 mm de profundidade, sendo o volume de cada célula: 93 cm³;
- TS100 – Dimensões: 385 mm x 385 mm e 73 mm de profundidade, sendo o volume de cada célula: 73cm³;
- TS47 – Dimensões: 385 mm x 216 mm e 85 mm de profundidade, sendo o volume de cada célula: 56 cm³

Na Figura 9 observam-se as mudas produzidas em cada tipo de bandeja:

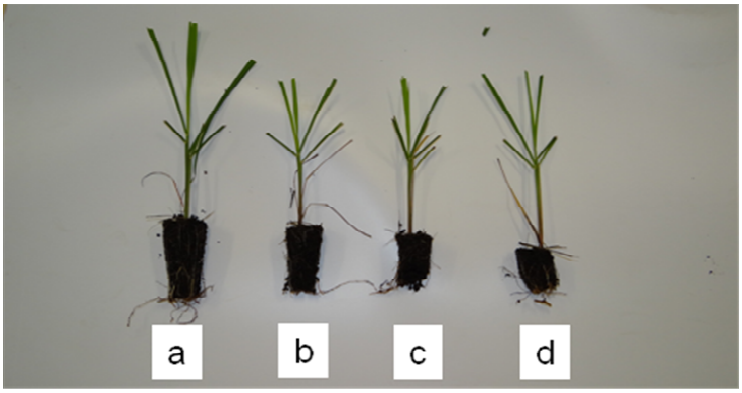



Figura 9 - (a) muda com 125 cm³ de reserva; (b) muda com 93 cm³ de reserva; (c) muda com 73 cm³ de reserva; (d) muda com 56 cm³ de reserva

As mudas chegaram ao Departamento de Engenharia de Biossistemas, para início do experimento, no dia 5 de abril de 2013 (Figura 10).

Figura 10 - Chegada e descarregamento das mudas

### 3.4 Estratégias de irrigação e definição dos tratamentos

Com relação às estratégias de irrigação (E), foram definidos oito tratamentos (E1 a E8), sendo quatro deles com o plantio das mudas com o solo inicialmente úmido, considerando a aplicação de uma lâmina de irrigação inicial 30 mm (E1 a E4). Já as mudas nos demais tratamentos (E5 a E8) foram plantadas em solo seco, ou seja, sem nenhuma lâmina ministrada após a estabilização do solo na unidade experimental. Posteriormente E1 foi mantido com o solo na capacidade de campo durante toda a condução do experimento.

A lâmina de 30 mm foi adotada, dada a realidade das usinas de cana-de-açúcar que, em sua maioria, têm o carretel enrolador como principal equipamento para irrigação de viveiro de mudas micropropagadas. Esse equipamento, por sua vez, realiza a aplicação da lâmina de irrigação em 100% da área. Para que essa lâmina seja suficiente para o fornecimento de água para as plantas, recomenda-se uma lâmina de 30 mm, uma vez que grande parte da água é perdida por evaporação, ou seja, caso a lâmina seja menor que 30 mm o volume de água pode não ser o suficiente para a umidade alcançar o sistema radicular das mudas, pois se evaporará.

As lâminas de 30 mm de irrigação aplicada em cada estratégia pré-fixada, considerando a evapotranspiração acumulada (Eto), estão detalhadas na Tabela 4. As estratégias reais (de acordo com as demandas de evapotranspiração que ocorreram no decorrer do experimento) serão apresentadas e detalhadas no item manejo da irrigação.

Para uma visualização mais prática da casualização dos tratamentos nas caixas dentro da estufa, os vasos receberam um código numérico referente aos 32 tratamentos impostos, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Definição dos códigos de acordo com os volumes dos tratamentos e as estratégias de irrigação que foram empregadas em cada um deles

| **Estratégias de Irrigação** | **Volume das células das bandejas ($cm^3$)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **56** | **73** | **93** | **120** |
| | **Códigos** | | | |
| E1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| E2 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| E3 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| E4 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| E5 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| E6 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| E7 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| E8 | 29 | 30 | 31 | 32 |

Contudo, as caixas foram identificadas com etiquetas contendo as informações de cada tratamento, e receberam também uma sinalização colorida de acordo com a estratégia de irrigação, para facilitar a visualização dos avaliadores, sendo azul para o E1, verde para E2, E3 e E4, e vermelho para E5, E6, E7 e E8 (Figura 11).

Figura 11 - Identificação da unidade experimental

Tabela 4 - Estratégias de irrigação considerando intervalos de EToAc pré-estabelecidas

| EToAc(mm) | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | M | L | L | L | | | | |
| 10 | M | | | | L | | | |
| 15 | M | L | | | | L | | |
| 30 | M | | | | | | L | |
| 40 | M | | | | L | | | L |
| 45 | M | L | | | | | | |
| 55 | M | | | | | L | | |
| 70 | M | | | | L | | | |
| 75 | M | L | | | | | | |
| 95 | M | | L | | | L | | |
| 100 | M | | | | L | | L | |
| 105 | M | L | | | | | | |
| 130 | M | | | L | L | | | |
| 135 | M | L | | | | L | | |
| 140 | M | | | | | | | L |
| 160 | M | | | | L | | | |
| 165 | M | L | | | | | | |
| 170 | M | | | | | | L | |
| 175 | M | | | | | L | | |
| 190 | M | | L | | L | | | |
| 195 | M | L | | | | | | |
| 200 | M | | | | | | | |
| 205 | M | | | | | | | |
| 210 | M | | | | | | | |

M: Manejo de irrigação utilizando a tensiometria mantendo a capacidade de campo; L: Lamina de irrigação fixa de 30 mm

### 3.5 Delineamento Experimental

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial ( 4x8 ) em três blocos, sendo a distribuição dos tratamentos de acordo com o sistema de irrigação já instalado e utilizado por Barbosa, 2010, totalizando, assim, trinta e dois tratamentos repetidos três vezes, ocupando as 96 caixas disponíveis para o experimento.

Com isso, cada parcela experimental foi representada por uma caixa contendo quatro mudas de cana-de-açúcar com aproximadamente 60 dias de idad,e provenientes do processo de micropropagação.

Para adequar o esquema teórico do delineamento e arranjo estatístico (Figura 12) à área (Estufa com dimensões de 6,80 x 23,00 m) e ao sistema de controle da irrigação disponível (trinta e dois registros hidráulicos distribuídos em quatro cabeçais de controle) o esquema teórico foi modificado "girando" em 180° a *"Parte II"* deste esquema, formando o esquema prático e/ou real, com a distribuição das parcelas na área experimental (Figura 13).

Para o esquema prático considerou-se a divisão dos três blocos (B1, B2 e B3) em "sub-blocos" (B'), que se arranjariam com a maior semelhança possível. Para tanto, as parcelas dos sub-blocos do Bloco 1 (B'1) ficaram no centro da estufa, as parcelas dos sub-blocos do Bloco 3 (B'3) ficaram nas extremidades da estufa e as parcelas dos sub-blocos do Bloco 2 (B'2) ficaram entre B'1 e B'2 (Figura 13).

| ***Parte I*** | | | | | ***Parte II*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L/C | 1 | 4 | 2 | 3 | L/C | 6 | 8 | 7 | 5 | |
| 4 | 26 | 18 | 6 | 13 | 3 | *24* | *27* | *19* | *3* | |
| 2 | 11 | 29 | 23 | 21 | 2 | *7* | *30* | *1* | *5* | B1 |
| 1 | 32 | 28 | 17 | 10 | 1 | *20* | *4* | *14* | *8* | |
| 3 | 2 | 15 | 25 | 22 | 4 | *9* | *12* | *31* | *16* | |
| L/C | 3 | 2 | 4 | 1 | L/C | 8 | 6 | 5 | 7 | |
| 3 | 22 | 25 | 15 | 2 | 3 | *27* | *24* | *3* | *19* | |
| 1 | 10 | 17 | *28* | *32* | 2 | *30* | *7* | *5* | *1* | B2 |
| 4 | 13 | 6 | 18 | *26* | 4 | *12* | *9* | *16* | *31* | |
| 2 | 21 | 23 | 29 | 11 | 1 | *4* | *20* | *8* | *14* | |
| L/C | 2 | 3 | 1 | 4 | L/C | 5 | 6 | 8 | 7 | |
| 4 | 6 | 13 | *26* | *18* | 1 | *8* | *20* | *4* | *14* | |
| 3 | *25* | *22* | 2 | 15 | 3 | *3* | *24* | *27* | *19* | B3 |
| 2 | *23* | *21* | 11 | *29* | 2 | *5* | *7* | *30* | *1* | |
| 1 | *17* | 10 | *32* | *28* | 4 | *16* | *9* | *12* | *31* | |

Figura 12 - Croqui de distribuição das parcelas com esquema teórico do delineamento e arranjo estatístico

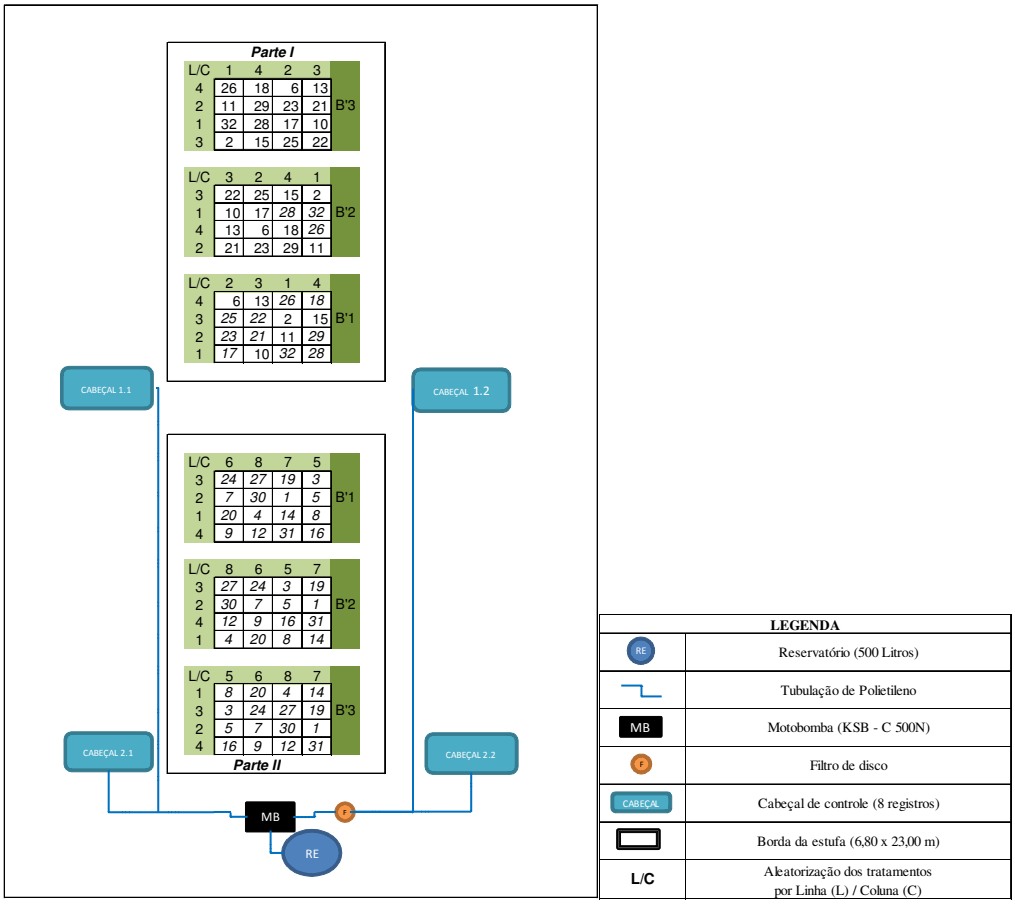



Figura 13 - Croqui de distribuição das parcelas com esquema prático e/ou real do delineamento e arranjo estatístico

Para análise estatística dos parâmetros avaliados utilizou-se o programa SISVAR (*Sistema de Análise de Variância Para Dados Balanceados*) (FERREIRA, 1999).

Para a análise de variância, inicialmente devem ser satisfeitas as suposições estatísticas quanto aos efeitos principais serem aditivos; os erros independentes e distribuídos normalmente; e as variâncias homogêneas. Assim, os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste de normalidade, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Os dados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (Tabela 6), desdobrando as análises sempre que a interação apresentava-se significativa, com base no teste de Tukey, em nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 6 - Esquema de distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para as fontes de variação, de acordo com o delineamento experimental e o arranjo de distribuição dos tratamentos

| Fator de Variação | G.L. |
|---|---|
| Blocos | 2 |
| Volume de substrato (VS) | 3 |
| Estratégias | 7 |
| Estratégias x VS | 21 |
| Resíduo | 62 |
| Total | 95 |

### 3.6 Plantio e condução da cultura

O plantio de todos os tratamentos foi realizado no dia 12 de abril de 2013. Para que as mudas fossem transplantadas com uma área foliar com certa homogeneidade, realizou-se uma poda com uma tesoura de jardim, rebaixando todas as plantas a 20 cm de altura. Esse procedimento é realizado em plantios comerciais de cana-de-açúcar, com o objetivo de reduzir a área foliar; consequentemente, a evapotranspiração também será reduzida.

Além disso, para cada tratamento padronizou-se o vigor e tamanho das mudas, considerando a altura das plantas, número de perfilhos e turgescência. Observou-se também o aspecto do conjunto substrato mais raízes, uma vez que durante o transporte e retirada das mudas das bandejas houve, em poucos casos, desfragmentação.

A distribuição das mudas nas caixas se deu de maneira uniforme, ou seja, dividiu-se a área da superfície superior da caixa em quatro quadrantes de mesma área e foi aberta uma cova ao centro de cada quadrante, de volume pouco superior ao volume do sistema radicular das mudas.

Imediatamente após o término de plantio de todas as unidades experimentais os tratamentos submetidos às estratégias de irrigação um a quatro (E1 a E4) receberam uma primeira lâmina de 30 mm. Já os demais (E5 a E8) foram mantidos em solo seco até o momento pré-definido de inicio da irrigação.

### 3.7 Umidade do solo

Para a verificação da umidade inicial entre os tratamentos que começaram com o solo seco (E5 a E8,) foram retiradas amostras de solo para quantificação da umidade, pela metodologia gravimétrica. As amostras foram retiradas utilizando-se um trado holandês (Figura 14) em duas profundidades, 0-20 e 20-40, totalizando assim 96 amostras. As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio com peso já aferido previamente e com boa

vedação, sendo posteriormente pesadas ($m_u$), levadas à estufa (105 ºC) por 48 horas e pesadas novamente ($m_s$). Desta forma a umidade do solo antes do plantio foi calculada com a eq. (1),

Figura 14 - Retirada das amostras de solo para quantificação da umidade, pela metodologia gravimétrica

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \tag{1}$$

em que:
U - umidade gravimétrica com base em peso seco, em g $g^{-1}$;
$m_u$ - peso de solo úmido, em g; e
$m_s$ - peso de solo seco em estufa, em g.

Por ser uma metodologia destrutiva, em que o solo é removido, alterando as condições da parcela amostrada e podendo danificar o sistema radicular das plantas, adotou-se ao logo do experimento outra metodologia de monitoramento da umidade do solo: a reflectometria no domínio do tempo (TDR), com base na instalação de sondas, de acordo com a Figura 15.

Para as leituras nas hastes utilizou-se a TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) com leituras semanais (Figura 15).

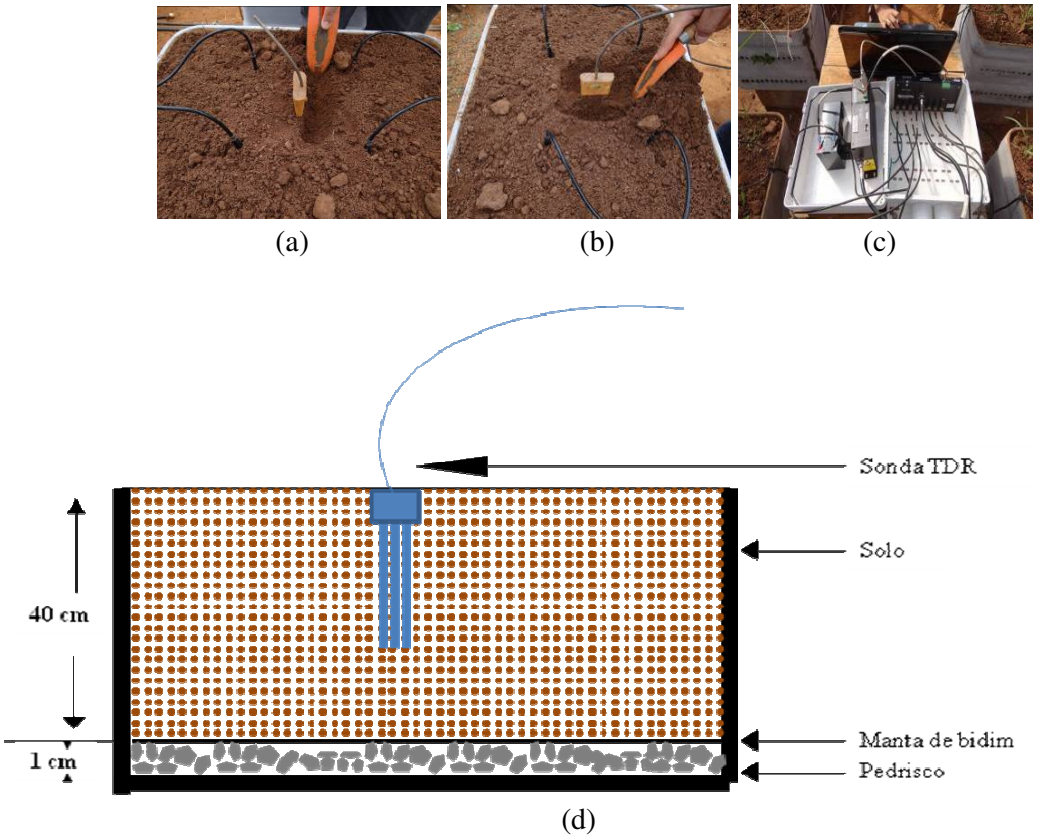



Figura 15 - (a) e (b) Exemplo de instalação da sonda de TDR, (c) reflectômetro TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) e (d) disposição da sonda de TDR nos tratamentos

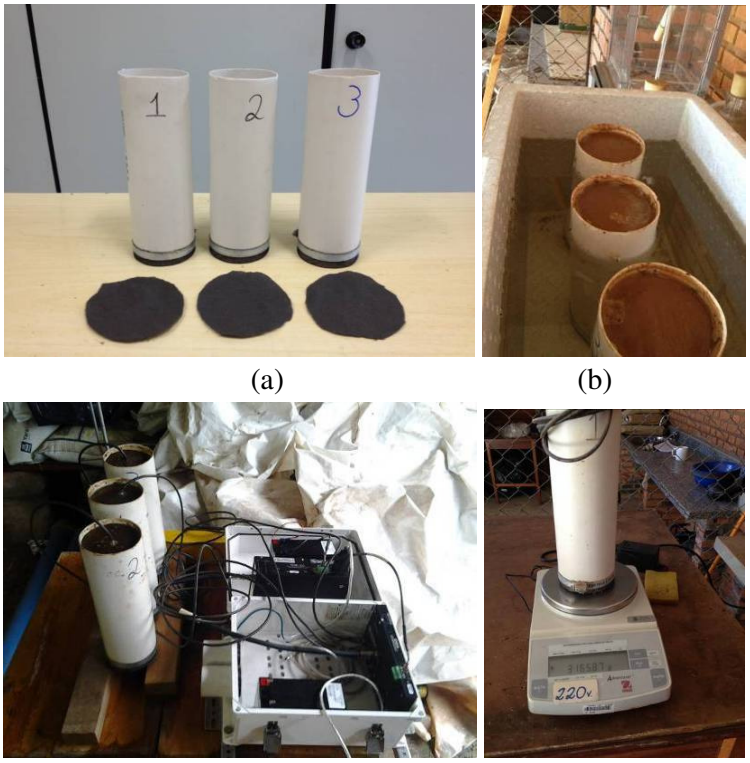
Para a utilização da TDR com precisão é necessário uma calibração, uma vez que para cada tipo de solo o comportamento dielétrico do meio poroso é um pouco diferente. Neste caso a calibração foi adaptada do método proposto por Miranda (2012).

No processo de calibração foram utilizados três tubos de PVC com igual volume conhecido. Na extremidade inferior foram colocadas uma tela de sombrite e uma manta de bidim para conter o solo e, em cada cilindro, foi posicionada uma sonda de TDR de forma transversal ao centro do tubo de PVC. Após a montagem, os recipientes foram preenchidos com o solo até o topo do tubo, compactando o máximo possível, manualmente. Atingido o volume máximo, os tubos foram colocados em uma caixa e submersos em água até 5 cm da sua extremidade superior, o que favoreceu a saturação do solo por capilaridade. Além disso, regou-se o tubo na extremidade superior e, à medida que havia uma acomodação do solo, o volume era preenchido novamente, procedimento repetido pelos dois dias subseqüentes, na intenção de reproduzir a mesma condição de acomodação existente durante o enchimento das parcelas experimentais (Figura 16).

Dada a saturação completa, após 10 dias da instalação do sistema de calibração, retirou-se os tubos da caixa com água e foram iniciadas as mensurações de peso total e

constante dielétrica, através da TDR. Com isso, foi possível acompanhar a perda de água (à medida que o peso diminuía, pela evaporação da água no solo) e o valor das variações da constante dielétrica correspondente em cada momento.

Após o secamento completo do solo (peso constante), coletou-se uma amostra de cada cilindro para a determinação da umidade gravimétrica, sendo possível determinar, através de uma correlação polinomial, a umidade de solo com sua constante dielétrica.




(a) (b)

(c) (d)

Figura 16 - (a) tubos com a tela na extremidade inferior e manta de bidim cortadas; (b) saturação com água dos tubos de PVC; (c) leitura da constante dielétrica através da TDR; (d) pesagem do cilindro

### 3.8 Monitoramento climático

Foram monitorados os seguintes elementos climáticos: radiação solar global - Rg, em MJ $m^{-2}$, utilizando um piranômetro (LP02-L12 - Campbell Sci.), temperatura do ar (ºC) e umidade relativa do ar (%), através de um sensor Vaissala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Ambos os sensores foram instalados no centro da casa de vegetação e acima do dossel da cultura (Figura 17). Os dados foram monitorados em sistema de aquisição de dados (datalogger), com médias armazenadas a cada 15 minutos.

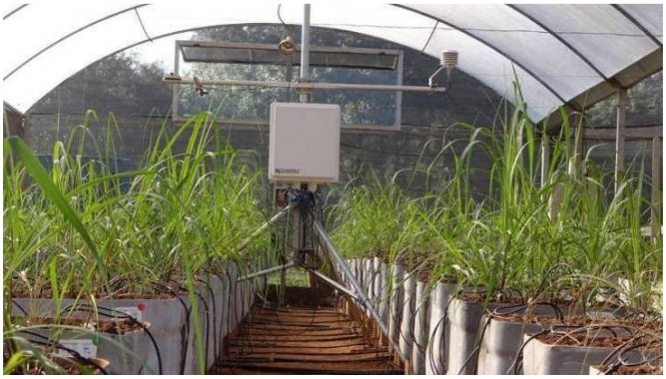


Figura 17 - Estação meteorológica no interior da casa de vegetação

Para utilização de um parâmetro mais adequado na disposição dos tratamentos de estratégia de irrigação, que não apenas o número de dias, mas um valor com base na demanda hídrica de cada período, foi estimada a evapotranspiração de referência para o interior da estufa (ETo*), utilizando o método padrão proposto pela FAO (ALLEN, et al. 1998), conforme a eq. (2), sendo este um valor que integra as condições ambientais relacionadas com a demanda hídrica (radiação, temperatura, umidade e vento) de cada dia. Assim, para definição das datas de irrigação dos tratamentos ao longo do tempo foi calculada a Evapotranspiração acumulada (EToAc - mm), sendo as irrigações realizadas com base nos níveis de EToAc.

$$ETo = \frac{0{,}408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma\,\frac{900}{T+273}\,u_2\,(DPV)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0{,}34\,u_2)} \qquad (2)$$

Em que:
ETo - evapotranspiração de referência, em mm $dia^{-1}$;
$R_n$ - saldo de radiação na superfície, em MJ $m^{-2}$ $dia^{-1}$;
G - fluxo de calor no solo, em MJ $m^{-2}$ $dia^{-1}$;
T - temperatura média do ar a 2 m de altura, em ºC;
$u_2$ - velocidade do vento a 2 m de altura, em m $s^{-1}$;
DPV - déficit de pressão de vapor, em kPa;
$\Delta$ - declividade da curva de pressão de vapor, em kPa $ºC^{-1}$; e
$\gamma$ - constante psicrométrica, em kPa $ºC^{-1}$;

Para o cálculo da ETo diária, o fluxo diário de calor no solo (G) é desprezado, pois de acordo com Allen et al. (1998), como sua magnitude é relativamente pequena, ele pode ser desconsiderado para períodos de 24 horas. A velocidade do vento no interior da estufa é muito baixa, e esse valor foi fixado em 0,5 m $s^{-1}$, de acordo com a sugestão do Boletim FAO 56 para ambientes desse tipo; isso é necessário para explicar os efeitos da instabilidade da camada limite e flutuabilidade do ar, que promovem a troca de vapor à superfície, quando o ar está

calmo. Ao estabelecer o valor de $u_2$ em 0,5 m $s^{-1}$ na equação, melhora-se a precisão da estimativa, nas condições de velocidade muito baixa do vento (ALLEN et al., 1998).

### 3.9 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação para o E1 foi realizado com base em dados de umidade do solo obtidos a partir de leituras dos tensiômetros. A umidade foi calculada pela equação de van Genuchten (1980) (eq. 3).

$$\theta=\theta_r+\frac{(\theta_s-\theta_r)}{[1+(\alpha|\Psi_m|)^n]^m} \tag{3}$$

em que:
$\theta$ ( $\psi_m$) - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em $m^3$ $m^{-3}$;
$\theta_r$ - umidade volumétrica residual do solo, em $m^3$ $m^{-3}$;
$\theta_s$ - umidade volumétrica do solo saturado, em $m^3$ $m^{-3}$;
m e n - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;
$\alpha$ - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em $kPa^{-1}$; e
$\psi_m$ - potencial mátrico, em kPa.

Foram instalados tensiômetros de punção em todos os tratamentos E1 (12 caixas) nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, posicionados no solo de acordo com a Figura 18 e 19, sendo a profundidade medida da superfície do solo até o centro da cápsula.

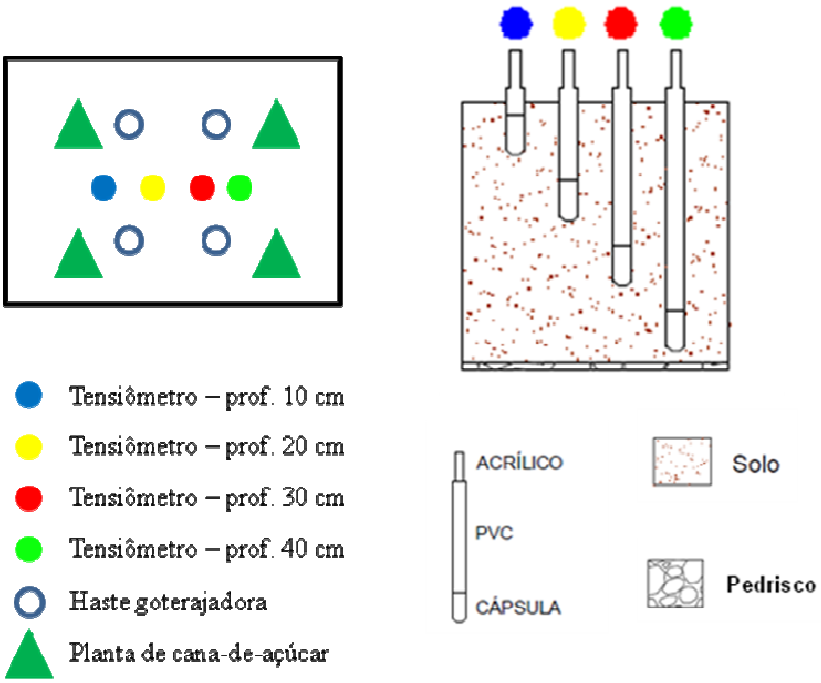



Figura 18 - Profundidade de instalação e posicionamento dos tensiômetros nas caixas

Figura 19 - Tensiômetros instalados no tratamento E1

As leituras foram realizadas em um intervalo máximo de três dias, por meio de um tensímetro digital. Com base nas leituras médias (3 repetições) obtidas do potencial mátrico ($\psi m$) para cada tratamento de volume de substrato, foi calculadas a necessidade de irrigação para elevar a umidade à capacidade de campo em cada tratamento.

O manejo de irrigação ocorreu conforme a Tabela 6, uma vez que, durante a condução do experimento, não foi possível um controle para proceder às irrigações exatamente nos valores de EToAc pré-estabelecidos. As estratégias foram seguidas, antecipando ou adiando a irrigação, para que o valor de EToAc real até a data da irrigação fosse o mais próximo do valor pré-estabelecido.

Tabela 6 - Estratégias de irrigação comparando os intervalos de EToAc planejado e reais

| ETOAc (mm) Planejada | EtoAc (mm) Real | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | 0,00 | M(1) | L(2) | L | L | | | | |
| 10 | 11,28 | M | | | | L | | | |
| 15 | 16,40 | M | L | | | | L | | |
| 30 | 29,41 | M | | | | | | L | |
| 40 | 40,17 | M | | | | L | | | L |
| 45 | 47,12 | M | L | | | | | | |
| 55 | 55,96 | M | | | | | L | | |
| 70 | 70,83 | M | | | | L | | | |
| 75 | 75,40 | M | L | | | | | | |
| 95 | 94,53 | M | | L | | | L | | |
| 100 | 101,46 | M | | | | L | | L | |
| 105 | 105,99 | M | L | | | | | | |
| 130 | 129,23 | M | | | L | L | | | |
| 135 | 135,49 | M | L | | | | L | | |
| 140 | 140,70 | M | | | | | | | L |
| 160 | 160,30 | M | | | | L | | | |
| 165 | 167,18 | M | L | | | | | | |
| 170 | 171,31 | M | | | | | | L | |
| 175 | 176,22 | M | | | | | L | | |
| 190 | 188,63 | M | | L | | L | | | |
| 195 | 193,32 | M | L | | | | | | |

M: Manejo de irrigação utilizando a tensiometria mantendo a capacidade de campo; L: Lamina de irrigação fixa de 30 mm

## 3.10 Parâmetros avaliados referentes ao desenvolvimento das plantas

### 3.10.1 Análise inicial das mudas

Para a verificação das diferenças entre as plantas submetidas aos diferentes volumes de substrato (VS), realizou-se uma análise de variância em delineamento inteiramente casualizado (DIC), uma vez que não estavam casualizadas em blocos. Para determinar as seguintes características: (i) SR: peso do substrato + raiz (g); peso da RU: raiz úmida (g); RS: peso da raiz seca (g); PA: peso da parte aérea (g); PAS: peso da parte aérea seca; PT: peso total (g), foi feita uma amostragem de seis plantas de cada tratamento, considerando uma homogeneidade visual entre elas. Para a determinação do peso das raízes, elas foram separadas do substrato, por lavagem em água. Após a lavagem foram pesadas em uma balança de precisão, e colocadas em estufa a 60 °C, durante 24h, até estabilização do peso.

### 3.10.2 Avaliações finais

As avaliações foram efetuadas ao final do experimento, sendo algumas delas realizadas semanalmente, a partir do vigésimo quinto dia após o plantio (25 DAP), e a grande maioria, após a colheita (141 DAP). Seguem os parâmetros avaliados:

### 3.10.3 Número de perfilhos

A intensidade de perfilhamento foi mensurada em todos os tratamentos, contando-se o número de perfilhos (NP), sendo considerado perfilho completo o broto formado a partir da muda plantada, incluindo o colmo primário. Essa avaliação se deu no140 DAP e 141 DAP.

### 3.10.4 Extensão máxima do colmo primário

Com o auxílio de uma fita métrica, a extensão máxima do colmo primário (EMCP) da superfície do solo até a extremidade (ponta) da folha mais alta (esticada manualmente) foi determinada ao 140 DAP, sendo esta medida representativa do crescimento total da planta, tanto do colmo quanto das folhas.

### 3.10.5 Número de folhas

O número de folhas (NF) foi obtido contando-se todas as folhas completamente desenvolvidas, a partir da folha +1 do colmo primário, conforme identificação foliar do "sistema Kuijper", medida esta feita ao final do experimento (Figura 20).

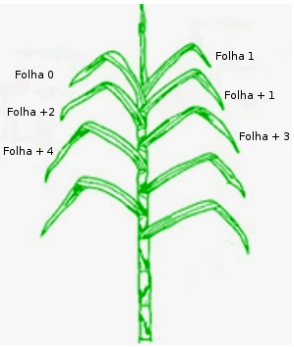



Figura 20 - Identificação foliar do "sistema Kuijper"

### 3.10.6 Porcentagem de plantas mortas

Para análise de sobrevivência das plantas foi avaliada a porcentagem de touceiras vivas aos 25 DAP, e a cada sete dias até o final do experimento, em cada parcela experimental, sendo que na primeira data todas as plantas já tinham sido irrigadas, pelo menos sete dias antes da avaliação.

Foi adotado um critério visual de avaliação, sendo considerada uma touceira morta aquela que não apresentava nenhuma folha verde, nem mesmo as folhas do cartucho, tanto dos perfilhos como do colmo primário, e nenhuma emissão de novos perfilhos. Sendo assim, essa informação possibilitou verificar as respostas de cada tratamento para as 4 diferentes estratégias de irrigação. Por conta da subjetividade envolvida na determinação desse parâmetro, procurou-se, ao longo de todo experimento, fazer com que todas as avaliações fossem sempre realizadas por um mesmo avaliador, buscando, assim, minimizar a ocorrência de contagens pseudo-mortas (Figura 21).

Figura 21 - (a) plantas consideradas mortas; (b) (c) parcelas avaliadas no dia 31 de julho de 2013 com sinais de sobrevida (d) avaliador

### 3.10.7 Acúmulo de matéria seca

As plantas foram coletadas para análise de peso seco ao final do experimento, com 232,97 mm de evapotranspiração acumulada (EToAc). Para análise de matéria seca das touceiras, foram cortados todos os perfilhos presentes na parcela experimental. O material retirado das parcelas foi armazenado separadamente, para quantificação da matéria seca de

bainha+colmo do colmo primário (MBCPR), matéria seca de bainha+colmo dos perfilhos (MBCPF), matéria seca de folhas do colmo primário (MFCP), matéria seca de folhas dos perfilhos (MFPF) e matéria seca total (MST). Para obtenção do peso seco, após o procedimento da coleta, o material foi levado à estufa, com sistema de circulação de ar quente forçado, à temperatura de 65 ºC, e retirado quando atingiu o valor constante. Os pesos foram medidos em balança analítica digital, com precisão de 0,01 g. (Figura 22)

Figura 22 - Fotos ilustrativas do momento da colheita, secagem para determinação do peso seco e pesagem de cada planta em balança de precisão

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 Dados Meteorológicos

O experimento foi finalizado aos 141 dias após plantio (12/04/2013 a 02/09/2013). Durante esse período os valores de temperatura e umidade relativa (UR) apresentaram uma média de 19,99 ºC e 77,33 % respectivamente, sendo 38,3 ºC no 133 DAP, o valor de temperatura máximo, e 6,18 °C no 125 DAP, o mínimo. Já o valor máximo para umidade relativa (UR) foi 100%, no 104 DAP, e o mínimo, 18,82 % no 141 DAP. Os valores máximos e mínimos de radiação solar global (RS) ocorreram aos 141 DAP = 14,8 (MJ $m^{-2}.dia^{-1}$), e 47 DAP = 0,8 (MJ $m^{-2}.dia^{-1}$), respectivamente.

A ETo diária calculada pelo método de Penman-Monteith pode ser observada na Figura 21, refletindo a variação dos dados climatológicos, com valor máximo de 2,63 $mm.dia^{-1}$ ao 114 DAP - quando a energia térmica e a radiante foram elevadas (21,1ºC e 12,2 MJ $m^{-2}.dia^{-1}$) - acompanhada de uma umidade relativa baixa 68,4 (%), resultando, assim, em maior evapotranspiração. O menor valor de ETo (0,55 $mm.dia^{-1}$) ocorreu aos 47 DAP, quando os resultados de radiação e temperatura atingiram 0,8 MJ $m^{-2}.dia^{-1}$ e 16,45 °C, com 97,9% e UR (Figura 23).

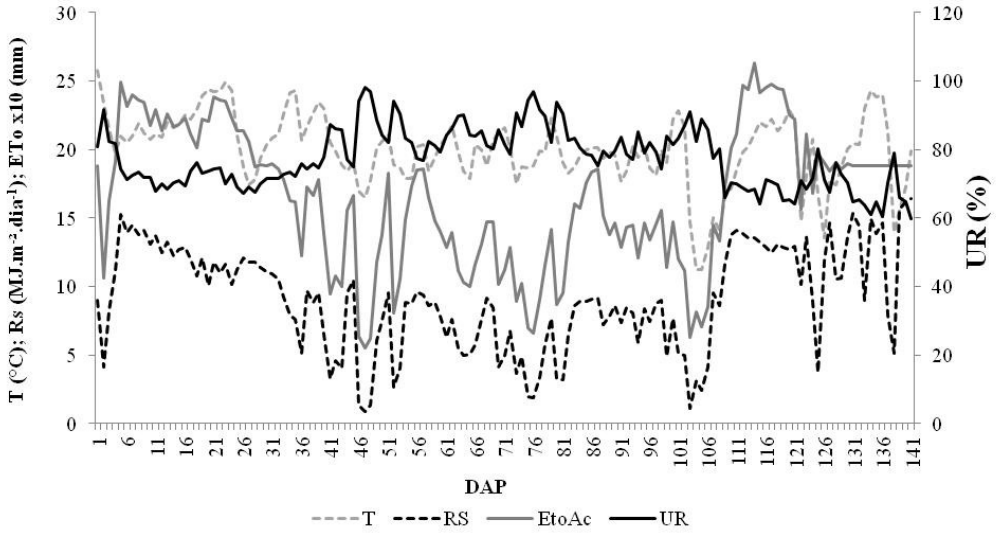



Figura 23 - Dados diários das variáveis meteorológicas; temperatura média (T), radiação solar (RS), umidade relativa média (UR) e da evapotranspiração de referência x 10 (ETo) estimada

Se for considerada apenas a média de temperatura, resultará em uma informação não favorável ao desenvolvimento vegetativo das plantas. Porém, por se tratar de um experimento

em cultivo protegido, foram observadas amplitudes de temperatura elevadas, ou seja, temperaturas favoráveis durante períodos do dia e desfavoráveis nos períodos noturnos. Além disso, vale ressaltar novamente que as estratégias de irrigação seguiram a evapotranspiração acumulada, representada na Figura 24.

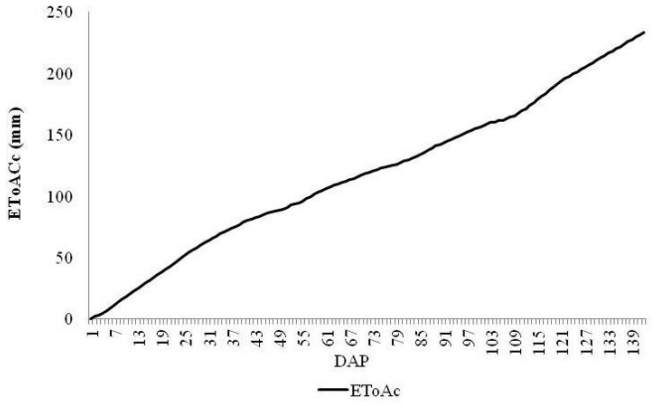



Figura 24 - Evolução da evapotranspiração acumulada em mm (EToAc)

## 4.2 Umidade do solo

### 4.2.1 Umidade gravimétrica para as estratégias sem irrigação inicial

A Figura 25 apresenta as médias das três repetições da umidade gravimétrica das profundidades 0-20 cm e 20-40 cm dos tratamentos 17 a 32. Esses tratamentos não receberam a lâmina inicial de 30 mm. Nota-se que os resultados de umidade para a profundidade 0-20 cm para a maioria dos tratamentos foram menores que os da umidade à profundidade de 20-40 cm, devido à proximidade com a atmosfera e perda de água por evaporação, com maior intensidade.

Com isso, é possível observar a baixa disponibilidade de água no solo, o que favoreceu a perda de água do substrato para o solo, por diferença de potencial mátrico para esses tratamentos, no momento do plantio, principalmente. A troca de umidade entre o substrato e o solo seco é intensificada também, pois a profundidade de plantio para todos os volumes de substrato não superou os 20 cm.

Nota-se também, que as plantas dos tratamentos que não receberam a lâmina inicial de irrigação de 30 mm apresentaram algumas alterações morfológicas visuais (devido à perda de umidade do substrato para o solo no momento do plantio), como a diminuição da área de exposição das folhas com a atmosfera (enrolamento), por exemplo.

Segundo Dalri (2006), em condições de deficiência hídrica, uma das primeiras respostas das plantas é limitar o consumo de água, reduzindo as perdas e a taxa de desenvolvimento da área transpiratória, diminuindo não apenas a quantidade total de crescimento, mas também mudando a forma de crescimento.

Contudo, no momento do plantio das mudas todos os tratamentos estavam abaixo do ponto de murcha permanente (PMP).

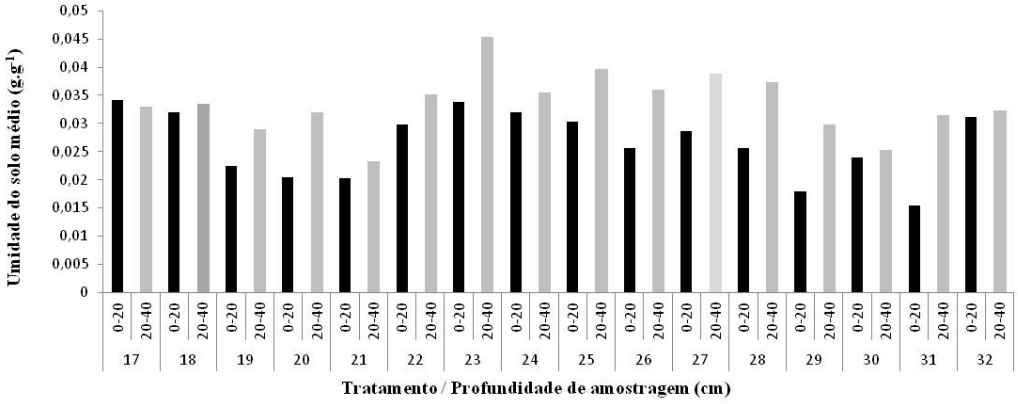



Figura 25 - Resultados da umidade gravimétrica com base peso seco ($g.g^{-1}$) média das três repetições dos tratamentos 17 a 32 (E5, E6, E7 e E8)

### 4.2.2 Resultados da Calibração das TDRs

Segundo Yadi e Molin[1] (2011), a equação geral de calibração da TDR do fabricante não se ajustou às amostras de solo coletadas em seu estudo, na zona onde foram coletadas as amostras, não devendo, portanto, ser utilizada indiscriminadamente no campo. Foi possível observar que a interferência dos diferentes tipos de solo nas leituras obtidas com o equipamento de TDR vai além das classes texturais dos solos, reforçando, assim, a necessidade de realizar uma calibração para cada tipo de solo.

O gráfico apresentado na Figura 26 descreve a curva polimonial resultante da correlação entre os dados de umidade do solo e as leituras das constantes dielétricas. A correlação polimonial com $R^2 = 0,971$ é considerada confiável para utilizar a equação para determinação da umidade, através somente das leituras das constantes dielétricas de cada TDR instalada nas unidades experimentais.

---

[1] YADI, D.Y.; MOLIN, J.P. **Validação de equação de calibração de um sensor TDR visando à determinação de umidade volumétrica do solo:** projeto de pesquisa. Piracicaba: ESALQ, 2011. 10 p.

O resultado médio das constantes dielétricas (ϵ) para o solo saturado foi 28,985, atingindo um valor de 34,15 % para umidade do solo em 100% da Capacidade de Água Disponível (CAD), ou seja, o solo com umidade na capacidade de campo. Já para o solo seco, ao final do procedimento de calibração, a média das constantes dielétricas foi de 4,207, resultando num valor de 3,331 % de umidade no solo.

Dessa forma foi possível monitorar a umidade do solo, de maneira contínua, em cada unidade experimental durante a condução do experimento.

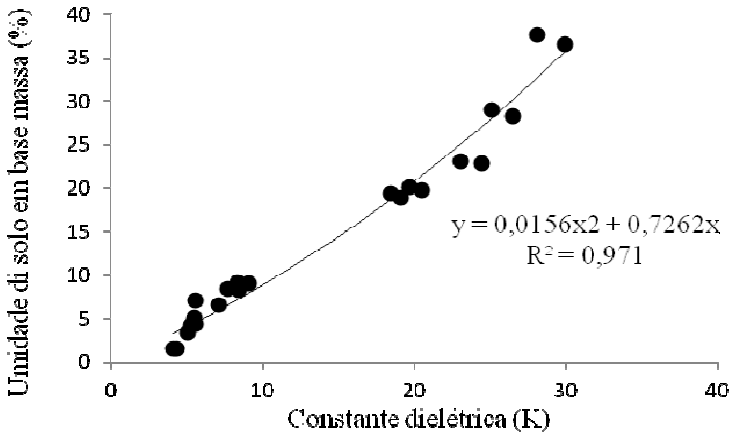



Figura 26 - Equação de regressão polimonial para determinar a correlação do processo de calibração da TDR para esse tipo de solo

### 4.2.3 Resultados do monitoramento da umidade do solo através da TDR

Após 4992 leituras de constantes dielétricas em 43 dias (de 12 de abril a 16 de agosto de 2013), o monitoramento da umidade do solo através da reflectometria pelo domínio do tempo (TDR) resultou nos gráficos de acompanhamento da umidade de solo, separados para cada estratégia de irrigação e seus respectivos tratamentos E1 (1, 2, 3 e 4), E2 ( 5, 6 ,7 e 8), E3 (9, 10, 11 e 12), E4 (13, 14, 15 e 16), E5 (17, 18, 19 e 20), E6 (21, 22, 23 e 24), E7 (25, 26, 27 e 28) e E8 (29, 30, 31 e 32).

Os gráficos permitem observar a variação da umidade do solo para cada estratégia de irrigação. Observa-se que os picos repentinos nas curvas são concomitantes com a aplicação da lâmina de 30 mm, decorrentes do aumento da umidade no solo e do decréscimo advindo da evapotranspiração das unidades experimentais. Porém, foram observadas algumas elevações e decréscimos da umidade, que não seguiram as tendências da curva durante o tempo, devido a erros experimentais, como, por exemplo, goteiras inesperadas na estufa, em dias de chuva, ou erro na leitura da constante dielétrica (falha do equipamento ou do operador).

Na Figura 25 observa-se a variação da umidade para a estratégia 1 (E1 - padrão); nota-se a manutenção da umidade próxima à de capacidade de campo, para todas as unidades experimentais.

Todavia, para o volume de substrato 73 cm³, observou-se uma umidade mais elevada durante todo o experimento (Figura 27), devido a algum erro experimental não identificado. A umidade média geral ao longo do experimento foi 8,85 % para todos os tratamentos da estratégia 1, ficando abaixo da CAD média para os intervalos de profundidade de 10 cm a 40 cm, que é 12,15 %.

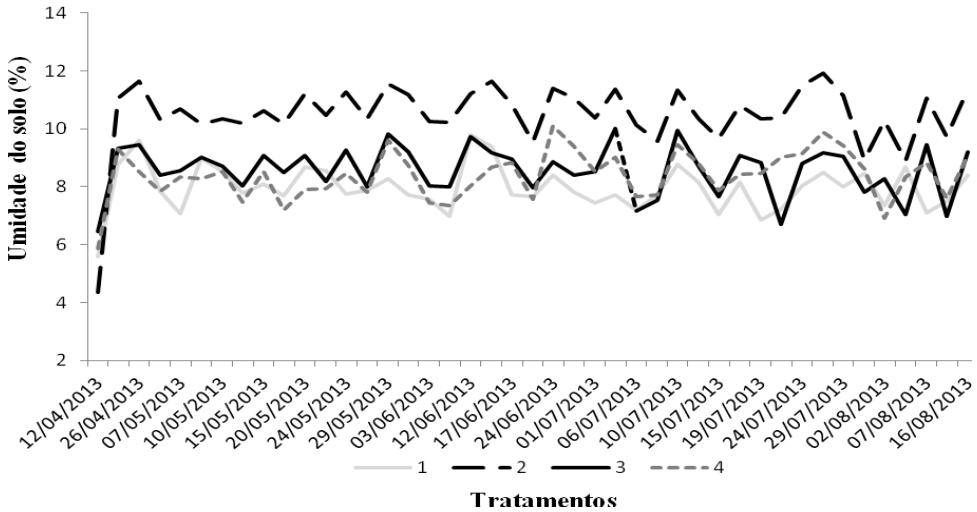



Figura 27 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 1 com os tratamentos de VS 1 (56 cm³), 2 (73 cm³), 3 (93 cm³) e 4 (125 cm³)

A Figura 26 representa a estratégia 2, que apresentou uma média geral de 6,3 % ao logo do experimento. Observou-se que para o tratamento 8 (VS 125 cm³) a umidade permaneceu sempre inferior à dos demais tratamentos (Figura 28). Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que essa estratégia permitiu um taxa de sobrevida próxima a 100% para todos os tratamentos. Com isso, o tratamento de 125 cm³, com um volume de Substrato + Raiz inicial, permitiu maior exploração do volume maior do solo e, consequentemente, maior absorção de água. Dessa forma, mesmo a lâmina sendo igual para todos os tratamentos, o tratamento 8 absorveu maior volume de água. Os resultados referentes ao desenvolvimento das plantas serão apresentados posteriormente.

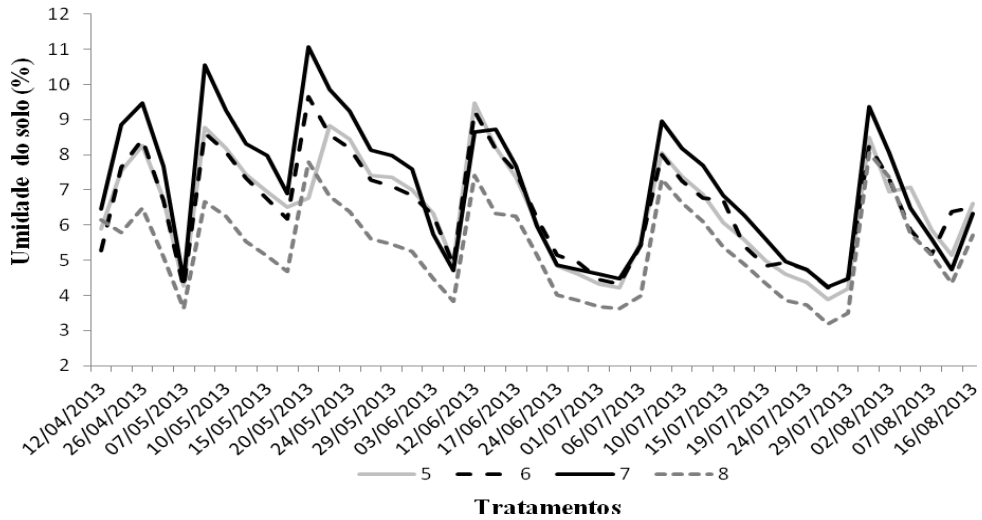



Figura 28 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 2, com os tratamentos de VS 5 (56 cm³), 6 (73 cm³), 7 (93 cm³) e 8 (125 cm³)

A Figura 29 apresenta o acompanhamento para a estratégia 3 que, ao contrário da estratégia controle e da 2, apresentou períodos mais longos com o solo seco. Embora a diferença entre as médias da estratégia dois (6,33 %) e três (5,08 %) seja de apenas 1,25 %, os intervalos de déficit de água no solo foram determinantes para a taxa de sobrevida das plantas. A elevação dos valores de umidade no dia 06 de julho de 2013 decorreu de algum erro experimental, talvez do equipamento, pois após essa data há uma redução abrupta da leitura.

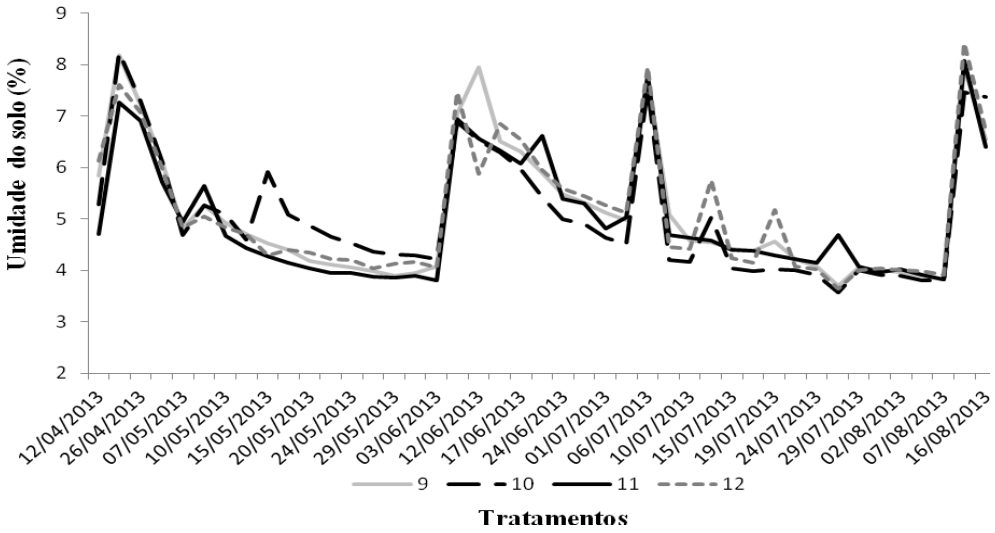



Figura 29 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 3, com os tratamentos de VS 9 (56 cm³), 10 (73 cm³), 11 (93 cm³) e 12 (125 cm³)

Para a estratégia 4, a média apresentada foi 4,69 %, considerando todos os tratamentos. As quedas abruptas nas umidades nos dias 26 de abril e 06 de julho de 2013 podem ter ocorrido devido a algum erro na leitura da constante dielétrica, pois não se justificam, uma vez que apenas duas lâminas de 30 mm foram realizadas, nos dias 12 de abril e 01 de julho de 2013, respectivamente, o que resultaria numa leitura seguindo a tendência de redução da umidade (Figura 30). Um erro freqüente encontrado foi um defeito nas conexões do cabo coaxial da TDR.

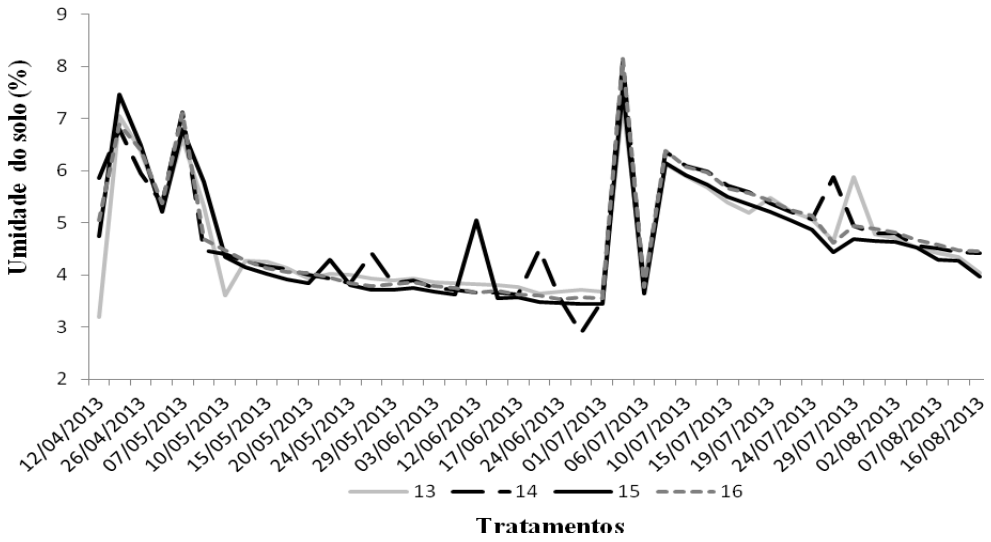



Figura 30 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 4, com os tratamentos de VS 13 (56 cm³), 14 (73 cm³), 15 (93 cm³) e 16 (125 cm³)

A Figura 31 apresenta a umidade para os tratamentos da estratégia 5, que obteve a segunda maior média, de 7,25 %. Além disso, observa-se a manutenção da umidade do solo, uma resposta melhor das leituras da constante dielétrica do solo no decorrer do experimento.

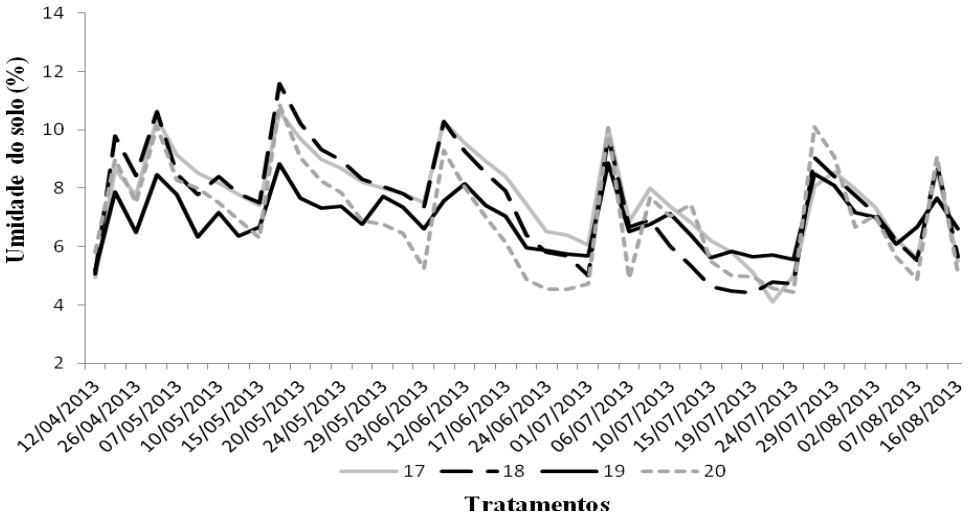



Figura 31 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 5, com os tratamentos de VS 17 (56 cm³), 18 (73 cm³), 19 (93 cm³) e 20 (125 cm³)

Os resultados da umidade para estratégia 6 são apresentados na figura 32, com uma média de 6,78 %. Com um total de cinco lâminas de 30 mm, essa estratégia apresentou quedas sinuosas da umidade do solo. Foi a primeira lâmina aplicada com apenas 16 mm de evapotranspiração acumulada (EToAC), com o objetivo de garantir uma taxa de sobrevida das plantas, e as demais, com um intervalo de aproximadamente 40 mm de EToAC. Essa estratégia evidencia a opção adotada pelo manejo da irrigação através da evapotranspiração acumulada, neste experimento. O intervalo entre as duas primeiras lâminas foi inferior ao das demais, devido à redução da evapotranspiração, em decorrência do período do ano com menores temperaturas e radiação solar. Os intervalos de aplicação entre uma lâmina e outra em dias após plantio (DAP) e EToAc ocorreram 8 DAP e 16,04 mm; 18 DAP e 39,92 mm; 27 DAP e 38,56mm; 32 DAP e 40,96 mm; e 28 DAP e 40,73 mm, respectivamente.

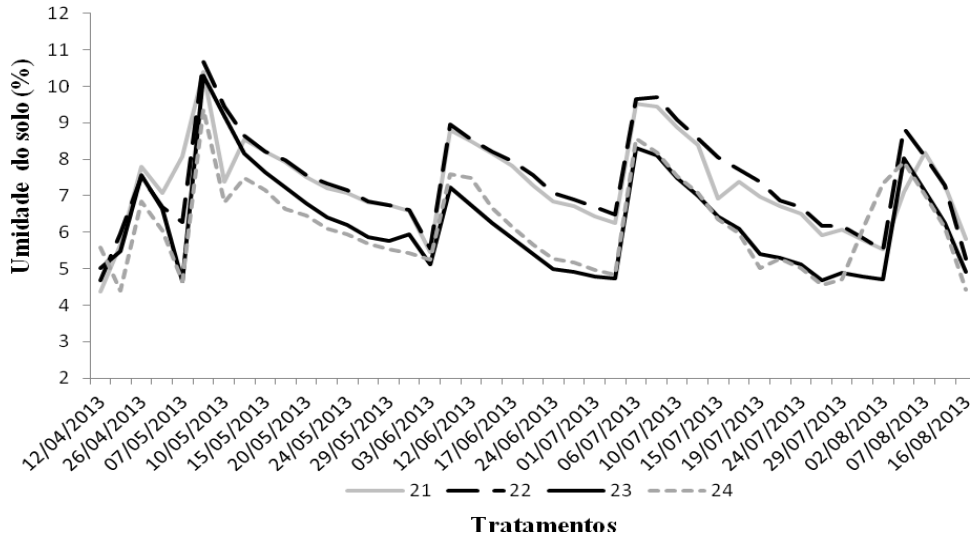



Figura 32 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 6, com os tratamentos de VS 21 (56 cm³), 22 (73 cm³), 23 (93 cm³) e 24 (125 cm³)

Para a estratégia 7, a média obtida da umidade do solo para todos tratamentos foi de 5,74 %. Embora essa taxa tenha sido superior ao da estratégia 3, o fato de as plantas terem sido plantadas em solo seco, reduziu a taxa de sobrevida. Essa redução pode ser explicada pela elevação inicial da umidade do solo, pelo fluxo de água contida no substrato para o solo seco, provocando um déficit hídrico inicial extremo, e prejudicando o estabelecimento das plantas nas unidades experimentais (Figura 33).

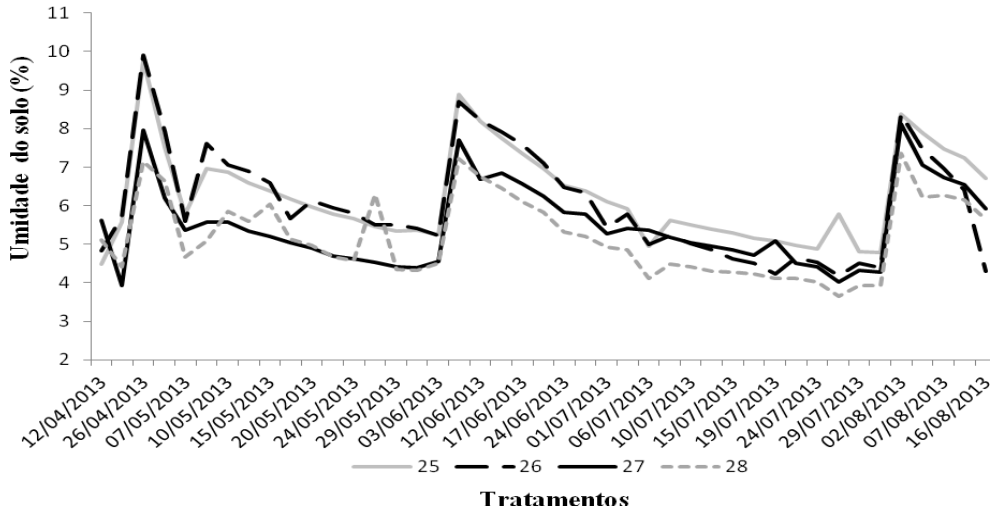



Figura 33 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 7, com os tratamentos de VS 25 (56 cm³), 26 (73 cm³), 27 (93 cm³) e 28 (125 cm³)

A estratégia 8 (Figura 34) apresentou uma média de 5,30 %. Na figura 32 observa-se uma elevação inicial da umidade do solo e variação inicial explicável pela perda de água do substrato para o solo, provocando um déficit hídrico extremo para as plantas dessa estratégia. A primeira lâmina de 30 mm ocorreu apenas no dia 30 de abril de 2013 (18 DAP), após 40 mm de evapotranspiração acumulada (EToAC), e a segunda lâmina, no dia 8 de julho de 2013, após um intervalo de 100 mm de EToAC. Nota-se também que, devido ao baixo índice de sobrevivência das plantas nas unidades experimentais dessa estratégia, a perda de água do solo para atmosfera se deu basicamente pela evaporação da água.

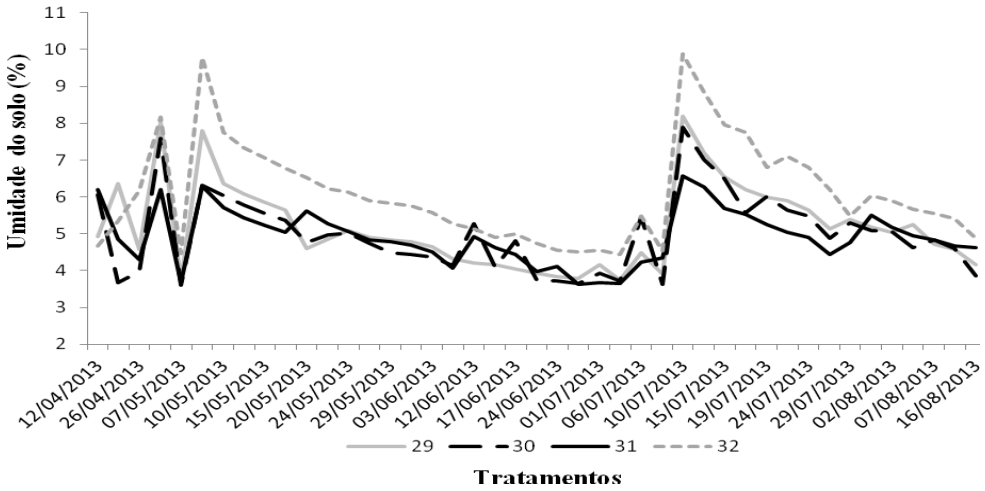



Figura 34 - Acompanhamento da umidade do solo (%) para a estratégia de irrigação 8 com os tratamentos de VS 29 (56 cm³), 30 (73 cm³), 31 (93 cm³) e 32 (125 cm³)

## 4.3 Parâmetros referentes ao desenvolvimento das plantas

### 4.3.1 Análises iniciais das mudas

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8 abaixo, pode-se observar diferença significativa entre os tratamentos, para as características iniciais de substrato + raiz (SR) e para o peso total (PT), devido à grande variação na quantidade de substrato para o VS de cada tratamento, impactando nas duas características. Por outro lado, isso demonstra que, em termos de características das plantas, uma quantidade maior de substrato não favorecerá significativamente maior desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular, resultando apenas numa quantidade maior de umidade ao redor das raízes. Além disso, abrigará uma quantidade maior do polímero hidroretentor.

Tabela 7 - Quadro de análise de variância para as características iniciais das plantas dos diferentes volumes de substrato

| | | Estatística F | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FV** | **GL** | **SR** | **RU** | **RS** | **PA** | **PAS** | **PT** |
| VS | 3 | 76,177 ** | 3,291* | 0,696 $^{ns}$ | 3,356 $^{ns}$ | 0,725 $^{ns}$ | 78,932** |
| CV (%) | | 10,86 | 31,3 | 374,76 | 20,21 | 140,03 | 10,29 |
| MG | | 53,62 | 1,187 | 0,012 | 2,83 | 0,322 | 56,37 |

*e**: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. $^{ns}$: não significativo.VS: volume de reserva do substrato (cm³); SR: substrato + raiz (g); RU: raiz úmida (g); RS: raiz seca (g); PA: parte aérea (g); PAS: parte aérea seca; PT: peso total (g). Número de observações: 24

Tabela 8 - Análise de médias dos parâmetros das plantas antes do plantio, de acordo com a bandeja utilizada no transplantio das mudas

| **VS** | **SR** | **RU** | **RS** | **PA** | **PAS** | **PT** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 125 | [1] 81,293 a | 1,383 a | 0,181 a | 3,445 a | 0,475 a | 84,738 a |
| 93 | 57,198 b | 0,838 b | 0,136 a | 2,760 ab | 0,433 a | 59,958 b |
| 73 | 38,775 c | 1,005 ab | 0,138 a | 2,658 b | 0,431 a | 41,433 c |
| 56 | 36,928 c | 1,245 ab | 0,181 a | 2,460 ab | 0,395 a | 39,388 c |

[1] médias da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. VS: volume de substrato (cm³); SR: substrato + raiz (g); RU: raiz úmida (g); RS: raiz seca (g); PA: parte aérea (g); PAS: parte aérea seca; PT: peso total (g)

### 4.3.2 Porcentual de plantas mortas

Segundo Stolf (1986), as falhas entre 30 a 50 cm nem sempre afetam a qualidade do stand, uma vez que, nessas condições, o perfilhamento pode ser estimulado pela maior radiação solar, que termina por compensar o número final de colmos da lavoura. Entretanto, de acordo com a metodologia proposta pelo autor, a partir de 50% de falhas, recomenda-se o replantio da área. Essa afirmação é válida para o plantio de mudas em áreas comerciais, ou seja, o de colmos de cana-de-açúcar, considerando de 12 a 15 gemas por metro linear, para o plantio manual, ou 20 a 25 gemas, para o mecânico. Entende-se que cada gema é passível de germinar e originar uma nova planta. Por outro lado, para o plantio de mudas de meristema ou pré-geminadas, consideram-se duas ou três plantas por metro linear.

Contudo, o porcentual de plantas mortas requer informação mais completa por parte dos tomadores de decisão, ao optarem por determinada estratégia e volume de reserva de substrato a ser adotado no plantio de viveiros, garantindo, assim, a sobrevivência de todas as plantas após o plantio.

O porcentual de plantas mortas foi analisado em quatro períodos correspondentes às seguintes datas: 17/05/2013 (73,7 mm de EToAc.), 14/06/2013 (110,8 mm de EToAc.), 15/07/2013 (150,4 mm de EToAc.) e 16/08/2013 (206,6 mm de EToAc.)

Na Tabela 9, o quadro da análise de variância demonstra que, para o fator estratégia, foi indicada diferença significativa a um nível de probabilidade mínimo de 1% (**) para todos os momentos analisados. Da mesma forma, para a interação estratégia e volume de reserva de substrato (VS) houve diferença significativa para três períodos de EToAc (73,7 mm, 110,8 mm e 206,6 mm). Já o fator VS isoladamente não apresentou diferença significativa ($^{ns}$). Entretanto, como houve interação entre os fatores, a análise deve ser feita nos desdobramentos, pois um fator influenciou o desempenho do outro.

Tabela 9 - Quadro de análise de variância para taxa de morte para cada nível de evapotranspiração acumulada (EToAc) após plantio (73,7 mm, 110,8 mm, 150,4 mm e 206,6 mm)

| **FV** | **Estatística F** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **GL** | **73,7mm** | **110,8mm** | **150,4mm** | **206,6mm** |
| Estratégias | 7 | 36,537** | 25,572** | 21,471** | 75,765** |
| VS | 3 | 0,852 $^{ns}$ | 1,355 $^{ns}$ | 0,536 $^{ns}$ | 1,33 $^{ns}$ |
| Estratégias x VS | 21 | 2,63** | 2,315** | 1,643 $^{ns}$ | 2,187** |
| Bloco | 2 | 2,976$^{ns}$ | 3,763 $^{ns}$ | 2,533 $^{ns}$ | 2,394 $^{ns}$ |
| CV (%) | | 74,88 | 58,87 | 61,64 | 31,28 |
| MG | | 0,278 | 0,440 | 0,445 | 0,570 |

*e**: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. $^{ns}$: não significativo

Na Tabela 10 estão os resultados do teste de média para porcentagem de plantas mortas no desdobramento do fator estratégia dentro do fator VS, sendo realizada uma análise para cada período de avaliação. Através do desdobramento, podemos observar que não houve diferença significativa dentro das estratégias 1, 2, 4 e 8 para os VS, considerando os quatro períodos avaliados, ou seja, ao longo de todo o experimento não houve acréscimo no tempo de sobrevida das plantas, com o aumento do volume de substrato.

Já para as estratégias 3, 5 e 6 ocorreram diferenças significativas em algumas das datas. Para estes casos, o tamanho do VS influenciou na morte das plantas ao longo do experimento, sendo importante destacar que nem sempre o maior VS resultou em maior sobrevida. Um exemplo pode ser visto no caso da estratégia 6 no dia 16/08/2013, quando a maior sobrevida (67% das plantas vivas) foi observada com a bandeja de 93 cm³. Como o VS é um fator imposto logo no plantio, as plantas apresentam diferentes desenvolvimentos em função desse fato; assim, as plantas com VS de 125 cm³ tiveram um desenvolvimento inicial

maior, que favoreceu a evapotranspiração, aumentando o consumo hídrico da planta e aumentando o déficit hídrico no solo, chegando a um estresse hídrico crítico, antecipadamente, quando comparado ao tratamento com bandeja de 93 cm³. O mesmo caso ocorre na estratégia 7; porém, o melhor desempenho foi para o tratamento com a bandeja de 73 cm³, diferença que se manteve para todas as avaliações.

Tabela 10 – Teste de Médias para porcentagem de plantas mortas (%) no desdobramento estratégia dentro de VS para os períodos de avaliação 73,7 mm, 110,8 mm, 150,4mm e 206,6 mm de Evapotranspiração Acumulada (EToAc)

| Estratégia | 75 mm - 17/05/2013 | | | | 110 mm - 14/06/2013 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ |
| 1 | (1)0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A |
| 2 | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A |
| 3 | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 58BC | 0,0A | 67C | 8AB |
| 4 | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 67A | 100A | 100A | 100A |
| 5 | 50B | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 50A | 0,0A | 0,0A | 0,0A |
| 6 | 75A | 67A | 33A | 75A | 75A | 67A | 33A | 75A |
| 7 | 75BC | 17A | 100C | 42AB | 75AB | 25A | 100B | 50AB |
| 8 | 58A | 100A | 100A | 100A | 58A | 100A | 100A | 100A |
| **Estratégia** | **150 mm - 15/07/2013** | | | | **205 mm - 16/08/2013** | | | |
| | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ |
| 1 | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A |
| 2 | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 8A | 0,0A |
| 3 | 58A | 33A | 67A | 25A | 92A | 100A | 100A | 100A |
| 4 | 67A | 100A | 100A | 100A | 83A | 100A | 100A | 100A |
| 5 | 50A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 50B | 0,0A | 0,0A | 0,0A |
| 6 | 75A | 67A | 33A | 75A | 75B | 67AB | 33A | 75B |
| 7 | 75AB | 25A | 100B | 50AB | 100B | 50A | 100B | 100B |
| 8 | 58A | 100A | 100A | 100A | 92A | 100A | 100A | 100A |

(1) Valores médios seguidos pela mesma letra na linha da tabela não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A Figura 35 demonstra a capacidade de algumas plantas de emitir novas folhas, após a aplicação da lâmina de 30 mm, mesmo depois de serem consideradas plantas mortas. Embora existissem casos de brotação de algumas plantas através de uma reidratação, a água presente no solo e as lâminas subsequentes não foram suficientes para mantê-las vivas, o que pode ser explicado pelo fato de que, ao secarem, as células vegetais encolhem. Quando as raízes encolhem, a sua superfície pode se afastar das partículas do solo que retêm a água e é possível que os delicados pêlos radiculares sejam danificados. Além disso, como as raízes

expandem-se lentamente durante o dessecamento, a camada externa do seu córtex se torna muitas vezes extensivamente coberta por suberina, um lipídeo impermeável à água, aumentando a resistência ao fluxo hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004)

Figura 35 - Planta considerada morta, apresentando sinais de rebrotação após aplicação de lâmina de 30 mm de irrigação

Outra informação relevante à condução do experimento, que favoreceu alguns tratamentos na taxa de sobrevida das plantas, foi o fato de algumas estratégias provocarem estresse hídrico muito acentuado logo no início do experimento. Em alguns tratamentos algumas plantas mais resistentes conseguiram permanecer vivas, o que lhes proporcionou uma oportunidade de não competição dentro da unidade experimental e maior espaço para exploração do solo pelo sistema radicular (Figura 36).

Figura 36 - Exemplo de planta única sobrevivente ao estresse hídrico severo (E7), permitindo maior exploração radicular

### 4.3.3 Matéria seca total da parte aérea e número de perfilhos

Após o estágio vegetativo, observa-se, no estágio de crescimento dos colmos, que cultivares com características de diâmetro do colmo maior apresentaram em geral um número menor de perfilhos, sendo visto também o contrário, podendo haver um peso total equivalente, mesmo com número diferente de perfilhos. No entanto, o número de perfilhos no

estágio vegetativo será em sua maioria superior ao apresentado no final do ciclo da cultura, pois no decorrer do desenvolvimento alguns perfilhos são perdidos por competição entre si na touceira.

Assim, os resultados de peso total da matéria seca e o número de perfilhos serão apresentados e discutidos conjuntamente, pois são consideradas características correlatas para definição do stand de uma área de viveiro de cana-de-açúcar, até o estágio fenológico vegetativo.

Para o cálculo do peso total de matéria seca, foi considerado o peso total de cada planta da unidade experimental (UE). Após a soma de todas as partes das plantas da UE, os dados foram tratados, excluindo-se o valor mais extremo entre as quatro plantas, sendo que, posteriormente, o peso representativo da parcela foi considerado o peso da média aritmética das três plantas, visando diminuir o coeficiente de variação observado. Para o número de perfilhos considerou-se a média das quatro plantas da UE. Portanto, foram 96 observações para as duas características.

Tabela 11 - Quadro de análise de variância para peso de matéria seca total (MST) e número de perfilhos (NP)

| **FV** | **Estatística F** | | |
|---|---|---|---|
| | **GL** | **MST** | **NP** |
| Estratégias | 7 | 86,35** | 37,978** |
| VS | 3 | 2,259 $^{ns}$ | 3,2* |
| Estratégias x VS | 21 | 1,068 $^{ns}$ | 1,407$^{ns}$ |
| Bloco | 2 | 2,412 $^{ns}$ | 5,5** |
| CV (%) | | 43,85 | 31,14 |
| MG | | 10,46 | 4,48 |

*e**: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. $^{ns}$: não significativo

O VS para número de perfilhos apresentou significância a 5% de probabilidade, uma vez que algumas plantas possuem inicialmente número de perfilhos variados. Por outro lado, o fator VS para massa seca total não apresentou significância, uma vez que as plantas inicialmente foram podadas com o objetivo de minimizar as diferenças de área foliar.

Já o fator variação “estratégia” apresentou nível de significância para MST e NP a 1%, o que evidencia a importância do suprimento de água no sistema, para que a planta estabeleça seu crescimento celular. Com isso, para as estratégias em que houve maior disponibilidade de água no solo, as plantas destinaram a produção da água para o perfilhamento e, consequentemente, maior acúmulo de matéria seca.

Existiu significância a 1% de probabilidade para os blocos na característica número de perfilhos, que pode ser justificada pelo posicionamento central do bloco 1, conforme apresentado nas Figuras 11 e 12. Esse posicionamento das parcelas no bloco 1 contribuiu para que ocorresse um maior perfilhamento nos blocos 2 e 3, respectivamente. Para evidenciar o efeito dos blocos para essa característica, a Tabela 12 apresenta o teste de Tukey para blocos a 5%.

Tabela 12 – Teste de Médias para blocos na característica números de perfilhos

| Blocos | Número de perfilhos |
|---|---|
| **1** | 3,812 B |
| **2** | 4,781 A |
| **3** | 4,843 A |

(1) Valores médios seguidos pela mesma letra na linha da tabela não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Embora a interação estratégia de irrigação e volume de substrato não tenha apresentado diferença significativa, foram realizados os testes de média para as duas características, para melhor entendimento entre os níveis dos fatores. As Tabelas 13 e 14 apresentam os testes de média para as duas variáveis, seguindo os procedimentos de comparação de médias, Teste Tukey e Teste Scott-knott, respectivamente. A análise pelo Teste de Scott-knott foi adicionada na discussão dessas variáveis, pois o Teste de Tukey dificulta a interpretação, devido à ambigüidade apresentada. A ambigüidade ocorre quando dois tratamentos de comparação múltipla, baseados em análise de agrupamento univariada, eliminam este tipo de problema, pois tem por objetivo separar as médias dos tratamentos em grupos homogêneas, pela minimização da variação dentro do grupo, e maximização entre grupos. Exemplo de teste que atende a esse requisito é o teste Scott-Knott (SILVA, 2007).

Tabela 13 - Teste de Médias para número de perfilhos (NP) e matéria seca total (MST) pelo método de Teste Tukey

| Estratégia | Número de perfilhos | | | | Matéria seca total (g/planta) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ |
| **1** | [(1)]8,33A | 8,0A | 6,67A | 10A | 31,06A | 33,55A | 41,65A | 35,14A |
| **2** | 7,67A | 6,3AB | 6,0AB | 6,33BC | 15,69B | 19,74B | 20,49B | 15,84B |
| **3** | 3,67BC | 4BC | 3,67ABC | 4,0CDE | 2,13C | 3,98C | 2,78C | 3,02C |
| **4** | 2,33BC | 2,0C | 3,0BC | 3,67CDE | 1,35C | 1,26C | 1,03C | 1,11C |
| **5** | 5,33AB | 8,0A | 5,67AB | 8,0AB | 15,52B | 22,59AB | 17,15B | 16,45B |
| **6** | 2,33BC | 4BC | 5,0AB | 5,33BCD | 1,54C | 1,54C | 10,37BC | 6,97BC |
| **7** | 2,0BC | 4BC | 1,0C | 2,67CD | 1,28C | 7,98C | 0,25C | 2,23C |
| **8** | 1,33C | 1,0C | 1,0C | 1,0D | 0,35C | 0,26C | 0,19C | 0,403C |

[(1)]Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna da tabela não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 14 - Teste de Médias para número de perfilhos (NP) e matéria seca total (MST) pelo método de Teste Scott-Knott

| Estratégia | Número de perfilhos | | | | Matéria seca total (g/planta) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ |
| **1** | [(1)]8,33A | 8,00A | 6,67A | 10,00A | 31,06A | 33,55A | 41,65A | 35,14A |
| **2** | 7,67A | 6,33A | 6,00A | 6,33B | 15,69B | 19,74B | 20,49B | 15,84B |
| **3** | 3,67C | 4,00B | 3,67B | 4,00C | 2,13C | 3,98C | 2,78D | 3,02C |
| **4** | 2,33C | 2,00C | 3,00B | 3,67C | 1,35C | 1,26C | 1,03D | 1,11C |
| **5** | 5,33B | 8,00A | 5,67A | 8,00B | 15,52B | 22,59B | 17,15B | 16,45B |
| **6** | 2,33C | 4,00B | 5,00A | 5,33C | 1,54C | 1,54C | 10,37C | 6,97C |
| **7** | 2,00C | 4,00B | 1,00C | 2,67D | 1,28C | 7,98C | 0,25D | 2,23C |
| **8** | 1,33C | 1,00C | 1,00C | 1,00D | 0,35C | 0,26C | 0,19D | 0,403C |

[(1)]Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna da tabela não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Examinando-se os grupos de média, através dos testes de Tukey e Scott-Knott, para a característica número de perfilhos, o teste de médias de Scott-Knott favorece a diferenciação entre os tratamentos e suas interações. Observa-se essa situação no VS de 125 cm³ que, para ambos os testes, possui 4 grupos de média; porém, pelo teste de Tukey, apenas as interações com as estratégias 1 e 8 não pertencem a um segundo ou terceiro grupo.

### 4.3.4 Matéria seca particionada

A Tabela 15 apresenta os resultados de análise de variância para as seguintes características: matéria seca de bainha colmo do colmo primário (MBCP), matéria seca de

bainha+colmo dos perfilhos (MBCPF); matéria seca de folhas do colmo primário (MFPR); e matéria seca de folhas dos perfilhos (MFPF).

Observa-se que, para todas as características, o fator variação de estratégias apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade. Com isso, infere-se que o volume aplicado pelas diferentes estratégias influenciará os resultados de peso de massa seca para cada parte analisada separadamente. Por outro lado, o fator volume de substrato apresentou diferença significativa somente para o peso seco das folhas e somatória de bainha e colmo, somente para os perfilhos primários, o que se justifica pelo fato de ser reduzido o crescimento dos perfilhos nas estratégias de restrição hídrica: a planta economiza energia para a manutenção e crescimento dos perfilhos primários.

Tabela 15 - Quadro de análise de variância para peso matéria seca (g) de bainha+colmo do colmo primário, matéria seca de bainha+colmo dos perfilhos; matéria seca de folhas do colmo primário; matéria seca de folhas dos perfilhos

| FV | Estatística F | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | GL | MFPR | MFPF | MCBPR | MCBPF |
| Estratégias | 7 | 48,518** | 40,668** | 74,505** | 48,199** |
| VS | 3 | 4,934** | 0,464 $^{ns}$ | 5,450** | 0,465$^{ns}$ |
| Estratégias x VS | 21 | 2,757** | 0,562 $^{ns}$ | 1,623 $^{ns}$ | 0,887$^{ns}$ |
| Bloco | 2 | 1,269$^{ns}$ | 1,285 $^{ns}$ | 2,559 $^{ns}$ | 2,444$^{ns}$ |
| CV (%) | | 45,21 | 65,73 | 49,68 | 62,73 |
| MG | | 2,88 | 3,44 | 1,91 | 2,51 |

*e**: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. $^{ns}$: não significativo. Matéria seca de bainha+colmo do colmo primário (MBCP); matéria seca de bainha+colmo dos perfilhos (MBCPF); matéria seca de folhas do colmo primário (MFPR); matéria seca de folhas dos perfilhos (MFPF). Número de observações: 96

### 4.3.5 Número de folhas e extensão máxima do colmo primário

A Tabela 16 apresenta o quadro de análise de variância para as características número de folhas (NF) e extensão máxima do colmo primário (EMCP). Para ambas as características o fator estratégia apresentou nível de significância, uma vez que a presença de umidade do solo favoreceu o crescimento vegetativo das plantas. Para a característica NF o fator bloco apresentou nível de significância, seguindo os resultados apresentados para NP, uma vez que podem ser correlacionados também.

No caso da EMCP, os fatores VS e a interação estratégia x VS apresentaram nível de significância a 1% e 5%, respectivamente. Observando-se a Tabela 17, o teste de média Tukey e Scott-Knott a 5% de probabilidade para os VS de 73 cm³ e 93 cm³ apresentaram melhores desempenhos, respectivamente. Esses resultados demonstram que as plantas

destinaram maior quantidade de energia para o crescimento nesses dois VS, ao invés da emissão de novos perfilhos.

Tabela 16 - Quadro de análise de variância para número de folhas (NF) e extensão máxima do colmo primário (EMCP)

| FV | Estatística F | | |
|---|---|---|---|
| | GL | NF | EMCP |
| Estratégias | 7 | 26,960** | 28,596** |
| VS | 3 | 2,751$^{ns}$ | 6,282** |
| Estratégias x VS | 21 | 2,077 $^{ns}$ | 1,881* |
| Bloco | 2 | 4,065* | 2,268 $^{ns}$ |
| CV (%) | | 26,24 | 30,03 |
| MG | | 4,729 | 0,74 |

*e**: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. $^{ns}$: não significativo

Tabela 17 - Teste de Médias para extensão máxima do colmo pelos métodos de Teste Tukey e Teste Scott-Knot

| VS | EMCP (m) | |
|---|---|---|
| | Tukey | Scott-Knott |
| **56** | (1)0,607C | 0,607B |
| **73** | 0,868A | 0,868A |
| **93** | 0,794AB | 0,794A |
| **125** | 0,695BC | 0,695B |

(1)Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna da tabela não diferem significativamente pelo teste de Tukey e Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

No caso da interação entre estratégia e VS, a Tabela 18 demonstra o desdobramento do teste de média pelo método de Scott-Knott. Optou-se por esse método, por proporcionar melhor divisão entre os grupos de média.

Tabela 18 - Teste de Médias para extensão máxima do colmo pelo método de Teste Scott-Knot

| Estratégia | EMCP(m) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 56 cm³ | 73 cm³ | 93 cm³ | 125 cm³ |
| **1** | (1)1,26A | 1,43A | 1,53A | 1,05A |
| **2** | 0,94A | 1,19A | 1,05B | 1,08A |
| **3** | 0,44B | 0,86B | 0,72C | 0,65B |
| **4** | 0,54B | 0,56B | 0,59C | 0,41B |
| **5** | 0,64B | 1,17A | 1,07B | 0,95A |
| **6** | 0,32B | 0,36B | 0,91B | 0,55B |
| **7** | 0,47B | 0,97B | 0,22D | 0,58B |
| **8** | 0,22B | 0,38B | 0,24D | 0,26B |

(1)Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna da tabela não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

Nota-se que houve uma diferenciação maior entre os tratamentos, para o VS de 93 cm³, ou seja, em quatro grupos de média, ao contrário dos demais VS, que apresentaram apenas dois grupos. Assim, verifica-se que no VS de 93 cm³, para as condições do experimento nas estratégias com menor déficit hídrico (E1, E2 e E5), as plantas continuaram o crescimento celular. De modo oposto, nas estratégias (E7 e E8) com déficits hídricos mais severos, as plantas com VS de 93 cm³ cessaram o crescimento, em comparação com os demais VS. Observa-se, também, o baixo valor obtido na E7 (0,22 m), o que aumenta a diferenciação entre os grupos.

### 4.3.6 Principais resultados consolidados

A Tabela 19 apresenta o teste de médias de porcentagem final de plantas mortas, números de perfilhos, peso da matéria seca total e emissão máxima do colmo primário. Considerando tais informações as mais relevantes para tomadores de decisões optarem pelas diferentes estratégias de irrigação e produção de mudas de cana-de-açúcar micropropagadas a estratégia controle (1) e as estratégias 2 e 5 apresentaram os melhores resultados pois em todas as características se mantiveram entre o primeiro ou segundo grupo de médias. Considerando apenas as estratégias as quais houve déficit (2 a 8) destaca-se o VS de 73 cm³ na estratégia 5, pois obteve os melhores resultados em todas as características analisadas.

Tabela 19 - Teste de Médias consolidada para as principais características analisadas (porcentagem final de plantas mortas, números de perfilhos, peso da matéria seca total e extensão máxima do colmo primário (EMCP)

| Estratégia | % Final Plantas Mortas Total | | | | Número de perfilhos | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **56 cm³** | **73 cm³** | **93 cm³** | **125 cm³** | **56 cm³** | **73 cm³** | **93 cm³** | **125 cm³** |
| **1** | [(1)]0,0A | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 8,33A | 8,0A | 6,67A | 10A |
| **2** | 0,0A | 0,0A | 8A | 0,0A | 7,67A | 6,3AB | 6,0AB | 6,33BC |
| **3** | 92A | 100A | 100A | 100A | 3,67BC | 4BC | 3,67ABC | 4,0CDE |
| **4** | 83A | 100A | 100A | 100A | 2,33BC | 2,0C | 3,0BC | 3,67CDE |
| **5** | 50B | 0,0A | 0,0A | 0,0A | 5,33AB | 8,0A | 5,67AB | 8,0AB |
| **6** | 75B | 67AB | 33A | 75B | 2,33BC | 4BC | 5,0AB | 5,33BCD |
| **7** | 100B | 50A | 100B | 100B | 2,0BC | 4BC | 1,0C | 2,67CD |
| **8** | 92A | 100A | 100A | 100A | 1,33C | 1,0C | 1,0C | 1,0D |
| **Estratégia** | **Peso matéria seca total** | | | | **EMCP** | | | |
| | **56 cm³** | **73 cm³** | **93 cm³** | **125 cm³** | **56 cm³** | **73 cm³** | **93 cm³** | **125 cm³** |
| **1** | 31,06A | 33,55A | 41,65A | 35,14A | 1,26A | 1,43A | 1,53A | 1,05A |
| **2** | 15,69B | 19,74B | 20,49B | 15,84B | 0,94A | 1,19A | 1,05B | 1,08A |
| **3** | 2,13C | 3,98C | 2,78C | 3,02C | 0,44B | 0,86B | 0,72C | 0,65B |
| **4** | 1,35C | 1,26C | 1,03C | 1,11C | 0,54B | 0,56B | 0,59C | 0,41B |
| **5** | 15,52B | 22,59AB | 17,15B | 16,45B | 0,64B | 1,17A | 1,07B | 0,95A |
| **6** | 1,54C | 1,54C | 10,37BC | 6,97BC | 0,32B | 0,36B | 0,91B | 0,55B |
| **7** | 1,28C | 7,98C | 0,25C | 2,23C | 0,47B | 0,97B | 0,22D | 0,58B |
| **8** | 0,35C | 0,26C | 0,19C | 0,403C | 0,22B | 0,38B | 0,24D | 0,26B |

[(1)]Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna da tabela não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

# 5 CONCLUSÕES

Para as condições em que o trabalho foi desenvolvido (tipo de solo, variedade RB93509, estratégia de irrigação – carretel enrolador) e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Para o plantio de mudas de biofábrica em solo seco, confirmou-se a hipótese inicial do trabalho, que presume existir uma relação ótima entre o volume de substrato (VS) das mudas micropropagadas de cana-de-açúcar, do manejo da irrigação com lâmina de 30 mm (carretel enrolador) e do nível de evapotranspiração local, de maneira tal que seja assegurado um bom stand de plantas na área, com o mínimo de aplicação de água (irrigação);

- Para o plantio de mudas de biofábrica com solo seco e com freqüência de irrigação a cada 30 mm de EtoAc, o volume de substrato mínimo de reserva deve ser de 73 cm³ (20% de gel), pois o volume inferior de 56 cm³ apresentou morte de 50% das plantas ao longo do experimento;

- Para o plantio de mudas biofábrica com solo seco e com freqüência de irrigação a cada 30 mm de EToAc, volumes do substratos maiores, 93 e 125 cm³ (20% de gel), podem propiciar maior consumo hídrico inicial das plantas e ocasionar redução no *stand* por déficit hídrico, em função da estratégia de irrigação adotada (E6 e E7);

- Para o plantio de mudas de biofábrica em solo úmido, a hipótese inicial do trabalho não foi confirmada, pois não observou-se morte das plantas em nenhuma das situações analisadas neste experimento (o volume de substrato não é importante);

- Considerando a otimização da produção de mudas para viveiros de cana-de-açúcar micropropagadas ou através da metodologia das mudas pré-brotadas o VS de 73 cm³, atenderá o stand desejável do viveiro, respeitando os intervalos de irrigação propostos na estratégia 5.

**REFERÊNCIAS**

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, D. **Crop evapotranspiration**: guides for computing crop water requirements Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, C.; OLIVEIRA, J.R.; REIS, E.S.; CORRÊA, R.M.; SOUZA, J.; SILVA, J.C.O.; PAULA J.C.R. de; RODRIGUES, L.H.F.; SOUZA, M.A. de; MENDONÇA M.R. de. A cultura de tecidos na agricultura. In: JORNADA CIENTÍFICA, 1.; FACULDADE INTEGRADAS PADRE ALBINO E CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE BAMBUÍ, 2008, Bambuí. 2008. 4 p. Disponível em: <http://www.cefetbambui.edu.br/str/artigos_aprovados/Ci%C3%AAncias%20Agrarias/14-PT-12.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2014.

ARGENTON, P.E. **Influência das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum – spp.*) na região de Piracicaba**. 2006. 110 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ASSOCIAÇÃO RURAL DOS FORNECEDORES E PLANTADORES DE CANA DA MÉDIA SOROCABANA. Disponível em: <http://www.assocana.com.br/custo.php>. Acesso em: 29 abr. 2013.

BARBOSA, F.S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo varietal 2102**. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/Censo2012.pdf> Acesso em: 10 fev. 2014.

CRISPIM, J.E. **A cana-de-açúcar em Santa Catarina.** Urussanga: Secretaria de Agricultura e Abastecimento; Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2006. Disponível em: <www.jecrispim.com/.../A_20Cana-de-A_C3_A7_C3_BAcar_20em_20Santa_20Catarina.pdf> Acesso em: 20 ago. 2012.

DALRI, A.B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba**: CP 2, 2006. p. 157-170.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar no Brasil:** seleção de terras potenciais para a expansão do seu cultivo. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

FERREIRA, D.F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados (SISVAR**). Lavras: UFLA, 1999. 92 p.

FERREIRA, R.A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G.B.; TEODORO, I.; SANTOS, M.A.; PORFIRIO, A.C.S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1229-1236, 20012.

GASHO, 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.

GENUCHTEN, M.Th. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980

GERALD L.T.S.; LEE L.L. Biofábrica e sua influência na produtividade de cana-de-açúcar. In: _____. **Biofábrica de plantas:** produção industrial de plantas in vitro. São Paulo: Antiqua, 2011. cap. 7, p. 118-130.

GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.D.G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GUIMARÃES, A.C.R. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetidas a déficit hídrico.** 2011. 67 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LANDELL, M.G.A.; PINTO, L.R.; CRESTE, S.; XAVIER, M.A.; ANJOS, I.A dos; VASCONCELOS, A.C.M.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, M.A. Seleção de novas variedades de cana-de- açúcar e seu manejo de produção. Encarte de **Informações Agronômicas,** Ribeirão Preto**,** v. 10, p. 1-7, 2005.

LANDELL, M.G.A.; ALVAREZ, R.; ZIMBACK, L.; CAMPANA, M.P.; SILA, M.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; PERECIN, D.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M.; KANTHACK, A.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A.C.M. Avaliação final de clones IAC de cana-de-açúcar da série 1982, em Latossolo Roxo da Região de Ribeirão Preto. **Bragantia,** Campinas, v. 58, n. 2, p. 1-13, 1999.

MASS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division,** New York, v. 103, p. 115-134, 1977.

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

MILANEZ, A.Y.; NYKO, D.; GARCIA, J.L.F.; REIS, B.L.S.F.S. dos. O déficit de produção do etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial,** Brasília, v. 35, p. 277-302, 2012.

MIRANDA, J.H.D. **Aplicação da refletometria no domínio do tempo (TDR) na estimativa da condutividade elétrica da solução do solo e concentração de nitrato, potássio, e cloreto em coluna de solo não saturado.** 2012. 114 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

OLIVEIRA, R.A.; REZENDE L.; MARTINEZ, A.; MIRANDA, G.V. Influência de um polímero hidro absorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 160, 2004.

PROJETO AGORA. **Projeto agora, municípios brasileiros.** Disponível em: <http://www.projetoagora.com.br/municipios-canavieiros/>. Acesso em: 22 mar. 2014.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico. 1997. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REDE INTERINSTITUCIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Três novas variedades RB.** Rio Largo, 2003. 17 p. (Boletim Técnico, 2).

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos,** Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 22-36, 1986.

SBW DO BRASIL. Disponível em: <http://www.sbwbrasil.com.br/index.htm>. Acesso em: 29 abr. 2013.

SCANAVINI, J.G.V. **Influência da variabilidade dos atributos químicos e físicos dos solos na escolha e condução de parcelas experimentais de cana-de-açúcar.** 2012. 41 p. Monografia (Especialização em Manejo de Solos) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SILVA, C.M.R. **Uso do teste de Scott-Knott e da análise de agrupamentos, na obtenção de grupos locais de experimentos com cana-de-açúcar**. 2007. 50p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

STEVENSON, G.C. **Genetics and breeding of sugar cane**. London: Longman, 1965. 284 p.

SURIANI M.W. **Cana-de-açúcar submetida a doses de polímeros sintéticos condicionadores de solo.** 2010. 37 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2010.

TRANSPLANTSYSTEM. Disponível em: <http://www.transplant-systems.com/TStray/Trays.jpg>. Acesso em: 29 abr. 2013.

TOLEDO, C.P. **Identificação e controle de microrganismos contaminantes no processo de micropropagação de cana de açúcar.** 2011. 21 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

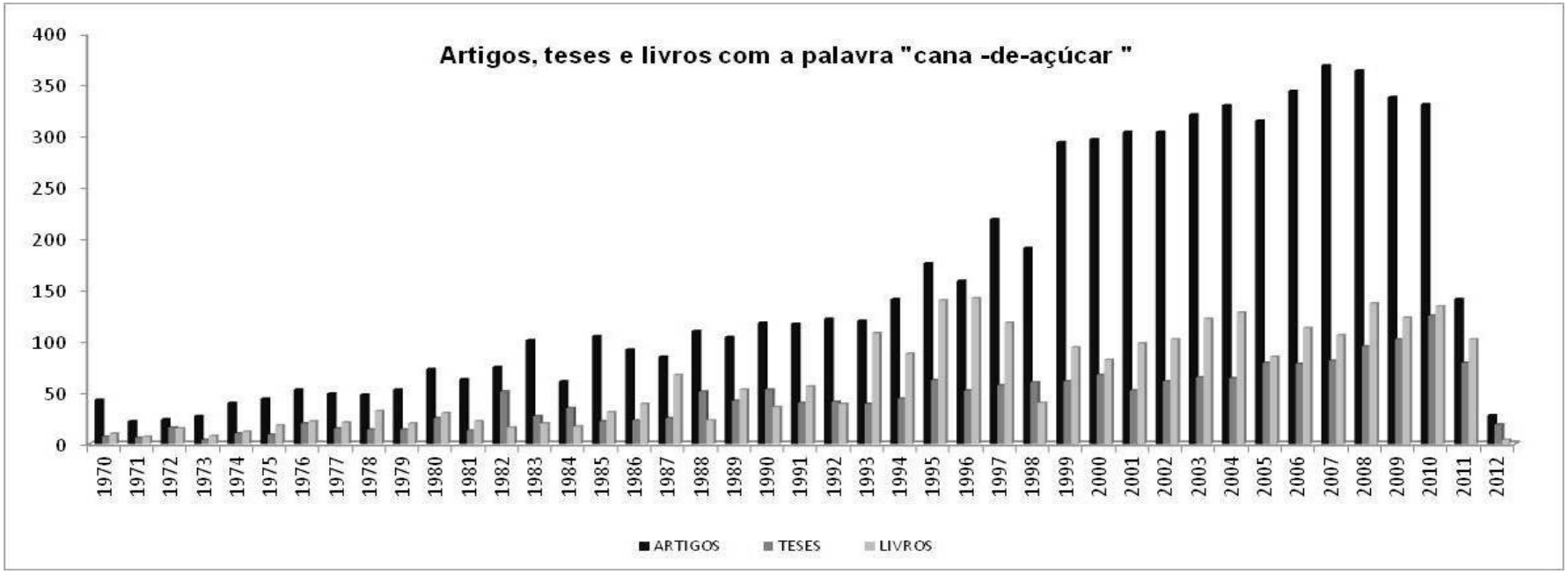
UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Histórico de produção e moagem por safra.** Disponível em: <http://www.unicadata.com.br>. Acesso em: 15 nov. 2012

UNIÃO DOS PRODUTORES DO OESTE PAULISTA. Disponível em: <www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993#nc>. Acesso em: 22 mar. 2014.

WIEDNFELD B.; ENCISO J.; FIPPS G.; ROBINSON J. **Irrigation of sugarcane in Texas.** Santa Rosa: USDA, 2001.14 p. (Agreement, 45049).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719 p.

REZENDE, R.S.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Irrigação.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_56_711200516718.html>. Acesso em: 20 mar. 2014.

# ANEXO

Trabalhos de teses, livros e artigos que foram publicados e registrados na Biblioteca da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Universidade de São Paulo, com o tema cana-de-açúcar, do ano de 1970 a 2012 (SCANAVNI, 2012)