

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

**Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de  
disponibilidade hídrica no solo**

**Fernando da Silva Barbosa**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Irrigação e  
Drenagem

**Piracicaba  
2010**

Fernando da Silva Barbosa  
Engenheiro Agrônomo

**Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**

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

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

**Piracicaba  
2010**

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

Barbosa, Fernando da Silva

Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo / Fernando da Silva Barbosa. - - Piracicaba, 2010.  
81 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.  
Bibliografia.

1. Água no solo 2. Cana-de-açúcar 3. Desenvolvimento vegetal 4. irrigação 5. Populações vegetais 6. Seca - Resistência 7. Sistema radicular I. Título

CDD 633.61  
B238r

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

*Aos meus pais, Hélio Inácio Barbosa e Maria Helena da Silva Barbosa.*

*Vocês são meus exemplos de vida.*

**DEDICO**

*À minha noiva, Rita, pelo amor e compreensão durante esse período.*

*Ao meu irmão, Renato, pelo companheirismo e amizade.*

*Ao anjo, que desde 11 de julho de 2010 protege e guia a minha vida.*

**OFEREÇO**



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha existência e por me abençoar com a realização dos meus sonhos de vida.

Ao meu pai e à minha mãe, pelo apoio e incentivo de cada dia. Sei que posso contar com vocês todos os dias da minha vida.

Ao meu irmão, principalmente pelo apoio para que eu superasse todas as dificuldades. Pode contar comigo para o que for preciso, torço muito pelo seu sucesso.

À minha noiva, pelo carinho que nunca faltou. Você é mais que especial, é fundamental na minha vida.

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, por acreditar e confiar na minha pessoa para o desenvolvimento deste trabalho e pelos conselhos e orientações durante esse período.

A todos os meus familiares, que foram tão importantes para que eu concluísse mais essa etapa da minha vida, agradeço muito pelo apoio e pelo carinho de cada um deles.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, pela confiança, orientação e pelos ensinamentos.

Aos meus amigos de pós-graduação, Carlos Lima e Lucas Vellame, pela ajuda na análise dos resultados e na elaboração deste trabalho.

A todos os meus colegas e amigos que ajudaram na condução do experimento, especialmente a Ana Guimarães, Eusímio Fraga Júnior, Everaldo Moreira da Silva, Felipe Zebinato, Rafael Maschio, Renato Moreira da Silva e Robson Mauri.

Ao colega Roque Emmanuel da Costa de Pinho, pela ajuda na correção do trabalho.

Aos meus amigos mestrandos e doutorandos que fiz durante este período, pelos momentos compartilhados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas. Agradeço a todos pela ajuda e companheirismo durante esse período.

Ao curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem ESALQ/USP, pela oportunidade de fazer parte desta equipe.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta participaram dessa fase da minha vida, ajudando, orientando ou mesmo aconselhando.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT .....	11
LISTA DE FIGURAS.....	13
1 INTRODUÇÃO .....	17
2 DESENVOLVIMENTO.....	19
2.1 Revisão bibliográfica.....	19
2.1.1 A cana-de-açúcar .....	19
2.1.1.1 Aspectos gerais .....	19
2.1.1.2 Variedades .....	20
2.1.1.3 Fases fenológicas.....	22
2.1.1.4 Sistema radicular .....	24
2.1.2 Deficiência hídrica .....	27
2.1.2.1 Considerações gerais .....	27
2.1.2.2 Deficiência hídrica: cana-de-açúcar.....	29
2.2 Material e Métodos .....	31
2.2.1 Localização e caracterização do experimento.....	31
2.2.2 Delineamento experimental .....	33
2.2.3 Plantio e condução da cultura .....	34
2.2.4 Manejo da irrigação .....	35
2.2.5 Análise das plantas.....	39
2.2.5.1 Número de perfilhos .....	39
2.2.5.2 Extensão máxima do colmo primário.....	39
2.2.5.3 Número de folhas do colmo primário .....	40
2.2.5.4 Número de folhas verdes do colmo primário .....	40
2.2.5.5 Porcentagem de touceiras vivas.....	40
2.2.5.6 Acúmulo de massa seca.....	41
2.2.6 Balanço hídrico climatológico para o período de déficit hídrico .....	42
2.2.6.1 Variáveis meteorológicas.....	42
2.2.6.2 Capacidade de água disponível no solo .....	43
2.2.7 Cálculo do balanço hídrico climatológico.....	43
2.3 Resultados e Discussão .....	45
2.3.1 Dados meteorológicos .....	45



2.3.2 Dados de umidade do solo.....	46
2.3.3 Parâmetros referentes ao desenvolvimento das plantas .....	48
2.3.3.1 Efeito das diferentes profundidades de solo nos parâmetros de desenvolvimento das plantas sem restrição hídrica.....	48
2.3.3.2 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 10 cm .....	51
2.3.3.3 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 20 cm .....	53
2.3.3.4 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 30 cm .....	55
2.3.3.5 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 40 cm .....	58
2.3.4 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico na população final de plantas.....	60
2.3.5 Estimativa da população final de plantas baseada no balanço hídrico climatológico .....	62
2.3.6 Equação de ajuste entre quantidade de touceiras vivas e balanço hídrico climatológico .....	65
2.3.6.1 Aplicações da equação .....	66
3 CONCLUSÕES .....	71
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXOS .....	79

## RESUMO

### Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura de grande importância social, econômica e ambiental para o Brasil, ocupa 7,1 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 570 milhões de toneladas. A disponibilidade hídrica é a principal causa da redução da produtividade, sendo o início do desenvolvimento o período mais sensível a déficit hídrico. São necessárias mais pesquisas para entender claramente os mecanismos de resposta da cultura ao déficit hídrico. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo e resistência à seca de duas variedades da cultura de cana-de-açúcar (RB867515 e SP81-3250) durante a fase inicial de desenvolvimento quando submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico para quatro profundidades de solo. O experimento foi realizado na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biosistemas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) em ambiente protegido (casa de vegetação), o solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco arenosa, denominado Série “Sertãozinho”. Utilizaram-se caixas d’água de 100 litros preenchidas com diferentes camadas de pedra brita nº 02, e solo, compondo camadas de 40, 30, 20 e 10 cm. Os níveis de déficit hídrico (N) foram aplicados interrompendo-se as irrigações por diferentes períodos, sendo que a evapotranspiração de referência acumulada (ET<sub>oAc</sub>) foi de 0, 21, 38 e 58 mm até o tratamento ser novamente irrigado para N1, N2, N3 e N4 respectivamente. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento e o manejo realizado com base em dados de umidade do solo obtidos a partir de leituras de tensiômetros. O delineamento foi em blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial 2 x 4 x 4 com os tratamentos dispostos em faixas, totalizando 32 tratamentos, sendo a parcela experimental representada por uma caixa contendo quatro touceiras de cana-de-açúcar. Observou-se que as plantas cultivadas em solo com profundidade de 10 cm apresentaram redução significativa na extensão máxima do colmo primário, massa de folhas do colmo primário, massa de folhas e bainha+colmo dos perfilhos, mesmo não tendo restrição hídrica. Para solos rasos, a variedade SP81-3250 foi mais sensível ao déficit hídrico, com grande redução na massa seca de folhas e bainha+colmo dos perfilhos. O desenvolvimento das plantas em solos de 30 e 40 cm de profundidade não apresentou diferença de sensibilidade ao déficit hídrico entre as variedades. Uma vez que o nível de água disponível do solo seja esgotado, a tolerância à seca das variedades estudadas é relativamente baixa. Balanços hídricos com valores menores que -13 mm causam queda significativa na população final de plantas, independentemente da variedade, sendo que, a partir de um valor acumulado de -35 mm, nenhuma planta sobreviveu.

Palavras-chave: Irrigação; Tolerância à seca; População de plantas; Sistema radicular



## ABSTRACT

### **Drought resistance of sugar cane crop for different levels of total availability water in the soil**

Sugar cane (*Saccharum* spp.) is an important crop from social, economic and environmental points of view for Brazil. It occupies 7,1 million hectares, producing approximately 570 million tons per year. Total available water in the soil (TWA) is the main cause of low productivity of certain areas, and the early development period it is one of most sensitive to water deficit. More research is needed to clearly understand mechanisms of crop response to drought, so this study aimed to evaluate plant growth and drought resistance of two varieties of the crop of sugar cane (RB867515 and SP81-3250) during the initial phase of development, under different water stress levels for different soil depths. The experiment was conducted at the Biosystems Engineering Department at the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) under greenhouse conditions; the soil used was classified as Typic Yellow, sandy loam, called Series "Sertãozinho". Fiber cement containers were used, filled with 100 liters of different gravel layers and soil, forming layers 40, 30, 20 and 10 cm of soil. The levels of water deficit (N) were applied interrupting the irrigation for different periods of cumulative reference evapotranspiration (ET<sub>oAc</sub>): 0, 21, 38 and 58 mm, before reirrigated treatment for N1, N2, N3 and N4 respectively. Irrigation management was carried out based on a drip irrigation system and tensiometer readings. The design was a randomized block design (RBD) in factorial 2 x 4 x 4 with treatments arranged in bands, totalizing 32 treatments (containers), presenting four clumps of sugar cane per recipient. It was observed that plants growing in 10 cm soil depths showed a significant reduction to the fullest extent of the primary stem, leaf mass of primary stem, leaf mass and stem sheath of tillers, although not differing under water restriction. For shallow soils the variety SP81-3250 was more sensitive to drought, with a large reduction in dry weight of leaves and stalks + sheath of the tillers. The development of plants in soils 30 and 40 cm soil depths showed no difference in sensitivity to water deficit among varieties. The percentage of plants alive correlated very well with the value of climatic water balance, and the treatments with climatic water balance more negative than -13 mm had a significant reduction in final plant population, without difference among varieties; after -35 mm of water deficit, 100% of the plants died.

Keywords: Irrigation; Drought tolerance; Plant population; Root system



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar.....	24
Figura 2 - Sistema radicular da cana-soca estabelecido .....	25
Figura 3 - Localização e vista geral do experimento .....	31
Figura 4 - Esquema de montagem das caixas para os tratamentos de profundidade do solo.....	33
Figura 5 - Croqui de distribuição dos tratamentos na área experimental.....	37
Figura 6 - Profundidade de instalação e posicionamento dos tensiômetros nas caixas	38
Figura 7 - Detalhe da anomalia na base das folhas (A). Identificação foliar do “sistema Kuijper”(B). Touceiras consideradas mortas (C). Touceiras consideradas vivas (B) - 10 dias após a retomada da irrigação .....	41
Figura 8 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura média (T), radiação solar (Rs) e umidade relativa média (UR), e da evapotranspiração de referência (ETo) estimada .....	45
Figura 9 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 10 cm em função da ETo acumulada.....	52
Figura 10 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 10 cm em função da ETo acumulada.....	53
Figura 11 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 20 cm em função da ETo acumulada .....	54
Figura 12 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 20 cm em função da ETo acumulada.....	55
Figura 13 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 30 cm em função da ETo acumulada .....	56

Figura 14 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 30 cm em função da ETo acumulada ..... 57

Figura 15 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 40 cm em função da ETo acumulada..... 59

Figura 16 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 40 cm em função da ETo acumulada ..... 60

Figura 17 - Porcentagem de touceiras vivas para solo com profundidade de: (A) 10 cm, (B) 20 cm, (C) 30 cm e (D) 40 cm para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) em função da ETo acumulada ..... 62

Figura 18 - Representação gráfica da equação de ajuste entre quantidade de touceiras vivas e balanço hídrico para ambas as variedades..... 66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo .....	32
Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica do solo.....	32
Tabela 3 - Dose equivalente de nutrientes aplicados em kg ha <sup>-1</sup> .....	35
Tabela 4 - Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e residual ( $\theta_r$ ), e dos parâmetros empíricos ( $\alpha$ , $n$ e $m$ ) do modelo de van Genuchten (1980) .....	36
Tabela 5 - Descrição dos tratamentos de déficit hídrico .....	36
Tabela 6 - Dados adaptados para as quatro profundidades estudadas e os respectivos valores de capacidade de água disponível (CAD).....	44
Tabela 7 - Dados diários de temperatura média (T), umidade relativa média (UR), radiação solar global (Rs) e da estimativa da evapotranspiração de referência diária (ET <sub>o</sub> ) e acumulada (ET <sub>oAc</sub> ) para o período de condução dos níveis de déficit hídrico	47
Tabela 8 - Dados médios de umidade gravimétrica do solo (g g <sup>-1</sup> ) para as datas de máximo déficit (02/8/2010) e após o retorno da irrigação (05/8/2010) para as diferentes profundidades de solo para ambas as variedades .....	48
Tabela 9 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) submetidas a quatro profundidades de solo (S) no tratamento sem restrição hídrica (N1) .....	49
Tabela 10 - Análise de médias dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 e SP81-3250 submetidas a quatro profundidades de solo (S) no tratamento sem restrição hídrica (N1) .....	50
Tabela 11 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da ET <sub>oAc</sub> no tratamento S10 .....	51
Tabela 12 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da ET <sub>oAc</sub> no tratamento S20 .....	54
Tabela 13 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da ET <sub>oAc</sub> no tratamento S30 .....	56



Tabela 14 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc no tratamento S40.....	58
Tabela 15 - Resumo da análise de variância para a porcentagem de touceiras vivas das variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc para as quatro profundidades de solo.....	61
Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a porcentagem de touceiras vivas das variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função do Balanço hídrico climatológico .....	63
Tabela 17 - Quantidade média de touceiras vivas (%) para RB867515 (V1), SP81-3250 (V2) e média de acordo com o balanço hídrico climatológico (BH).....	64
Tabela 18 - Caracterização dos solos de textura arenosa, média e argilosa .....	67
Tabela 19 - Estimativa do número máximo de dias sem irrigação das plantas de cana-de-açúcar para diferentes níveis de sobrevida, em um solo de textura arenosa .....	68
Tabela 20 - Estimativa do número máximo de dias sem irrigação das plantas de cana-de-açúcar para diferentes níveis de sobrevida, em um solo de textura média .....	69
Tabela 21 - Estimativa do número máximo de dias sem irrigação das plantas de cana-de-açúcar para diferentes níveis de sobrevida, em um solo de textura argilosa.....	69

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura de grande importância social, econômica e ambiental para o Brasil, ocupa 7,1 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 570 milhões de toneladas. O estado de São Paulo se destaca com a maior área e maior produção do país, 3,8 milhões de hectares e 343 milhões de toneladas, respectivamente (AGRIANUAL, 2010). O Brasil desponta como líder mundial nas exportações de açúcar, e na utilização da cana como fonte de energia renovável, principalmente pela crescente participação dos veículos bicomustíveis na frota automotiva brasileira (COSTA, 2009). A produção mundial totaliza quase 1,5 bilhões de toneladas e está localizada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e do Sudeste Asiático (UNICA, 2010).

A disponibilidade de água no solo e a temperatura são fatores que afetam muito o crescimento da cultura. Segundo Inman-Bamber (2004), temperaturas elevadas proporcionam aumento na evapotranspiração em plantas bem supridas com água, mas, em plantas sob estresse hídrico, causam redução na área foliar e no crescimento dos perfilhos, além de estimular a senescência de folhas. A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade segundo Pimentel (2004), sendo que para cana-de-açúcar o início do desenvolvimento da cana-planta é o período mais sensível a déficit hídrico (ROSENFELD, 1989).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as fases fenológicas de cada variedade. Gascho e Shih (1983) e Câmara (1993) dividem o ciclo da cultura em quatro estágios fenológicos: brotação e emergência; perfilhamento; crescimento dos colmos; e maturação dos colmos.

Os benefícios da irrigação para minimizar o déficit hídrico na cultura da cana-de-açúcar podem ser divididos em benefícios diretos e indiretos. Segundo Matioli (1998), os benefícios diretos consistem no aumento de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados

com redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade, tais como: com a dispensa de arrendamentos, com o plantio desses arrendamentos dispensados, com os tratos culturais dos arrendamentos dispensados e com transporte, se os arrendamentos dispensados forem mais distantes da unidade industrial que a área irrigada.

Smit e Singels (2006) afirmam que mais pesquisas são necessárias para entender claramente os mecanismos de resposta da cultura ao estresse hídrico. Nesse intuito o trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo e resistência à seca de duas variedades da cultura de cana-de-açúcar durante a fase inicial de desenvolvimento quando submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico para quatro diferentes profundidades de solo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão bibliográfica**

#### **2.1.1 A cana-de-açúcar**

##### **2.1.1.1 Aspectos gerais**

A cana-de-açúcar é uma *poaceae* semiperene com metabolismo fotossintético  $C_4$ , teve sua origem na Nova Guiné, onde sua existência era tida como em estado de planta silvestre e ornamental. Da Nova Guiné, disseminou-se em várias linhas do sul do Oceano Pacífico, na Indochina, no Arquipélago da Malásia e em Bengala, sendo certo o seu aparecimento como planta produtora de açúcar na Índia. Os persas parecem ter sido os primeiros a desenvolverem as técnicas de produção de açúcar na forma cristalizada, tal como atualmente se conhece (DELGADO; CÉSAR, 1977).

O ciclo evolutivo da cultura pode ser de 12 (cana de ano) e 18 meses (cana de ano e meio) em cana-planta. Após o primeiro corte o ciclo passa a ser de 12 meses, e a partir do primeiro corte passa a ser denominada de cana-soca. Os fatores ambientais que afetam de maneira significativa a produção da cana-de-açúcar são temperatura, luz, disponibilidade de água e nutriente (ALFONSI et al., 1987).

As características inerentes a cada genótipo definem o número de colmos por planta, assim como a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciada pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas. As características das variedades influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento (RODRIGUES, 1995).

Nos primeiros meses, a quantidade de água necessária à cultura é relativamente pequena, porém, quando a planta encontra-se em pleno estágio de desenvolvimento vegetativo, são exigidas grandes quantidades de água (FAUCONNIER; BASSEREAU,

1975). Desta forma, a cana-de-açúcar necessita de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca durante todo o período de crescimento (LARCHER, 2004).

Dois mecanismos morfofisiológicos que a cultura apresenta para evitar a seca são o enrolamento foliar (reduzindo a projeção de área foliar, e, por conseguinte, a radiação incidente) e o fechamento estomático, limitando a transpiração (LISSON et al., 2005). Esses mecanismos podem variar, consideravelmente, entre genótipos de cana-de-açúcar, podendo ser correlacionados com a tolerância à seca (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005), daí a importância do estudo em variedades específicas.

### **2.1.1.2 Variedades**

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

Atualmente o Brasil conta com quatro programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, disponibilizando as atuais e futuras variedades para cultivo e possibilitando os melhores manejos varietais aos produtores, sendo as seguintes: Canavialis (variedades CV); Centro de Tecnologia Canavieira (variedades CTC, sucessor da Copersucar - variedades SP); Instituto Agrônomo de Campinas (variedades IAC); e Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA (variedades RB).

O Censo varietal das áreas de formação (expansão e reforma) e de colheita de cana-de-açúcar, realizado pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar das Universidades Federais de São Carlos e Viçosa (PMGCA-UFSCar e UFV) integrantes da RIDESA, em 2008, avaliou áreas nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e São Paulo. As variedades RB867515 e a SP81-3250

foram as mais plantadas, com área de aproximadamente 103 e 71 mil hectares respectivamente, equivalente a 22,2 e 15,5% de toda área plantada (ALONSO, 2009)

A variedade RB867515 apresenta hábito de crescimento ereto e despalha fácil. O perfilhamento é médio com colmos de diâmetro médio e alta uniformidade. Os colmos possuem entrenós cilíndricos, de cor verde-arroxeadada sob a palha, e roxa intensa quando expostos ao sol. Apresenta pouca rachadura e suave ziguezague. O aspecto é liso e com pouca cerra. O anel de crescimento tem largura média, de cor verde-amarelada sob a palha e verde-arroxeadada quando exposto ao sol. A zona radicular é de largura média, sem enraizamento aéreo. As gemas são de tamanho médio do tipo pentagonal, pouco proeminente ultrapassando o anel de crescimento e com poro germinativo apical. A almofada é de largura estreita e deprimida. As folhas são de largura média, arqueadas, curvas e têm bordos com serrilhamento pouco agressivo. A bainha é de comprimento longo com quantidade de cera regular e pouco joçal, neste caso, caduco. Apresenta duas aurículas, sendo uma lanceolada, de tamanho médio e outra curta de forma transitória. A lígula é de forma crescente. O dewlap é triangular. O palmito é médio, de cor verde-arroxeadada e com pouca cerra (RIDESA, 2010).

A variedade SP81-3250 tem hábito levemente decumbente com pouco acamamento, despalha média, crescimento vigoroso, apresentando uniformidade e alto perfilhamento. Os entrenós são de cor verde-arroxeadada ao sol e verde-amarelada sob a palha, sendo os brotões também de cor verde-amarelada. O comprimento e diâmetro são médios, do tipo cilíndrico, a secção transversal é circular e o aspecto é liso. Apresenta zigue-zague suave, canaleta rasa, pouca cera e ausência de rachaduras. No nó o anel de crescimento é de cor verde-amarelada, de largura e saliência média. A zona radicular é de largura média, os poros radiculares são de cor roxa-amarelada, zona cerosa regular e sem enraizamento aéreo. As gemas são de tamanho médio com pouca saliência, do tipo oval, apresentando pelos no ápice, poro de posição apical, não ultrapassando o anel de crescimento. As folhas são arqueadas de largura média com poucos pelos e pouco serrilhamento nos bordos, sendo a copa volumosa. O palmito é de cor verde-amarelada com pouca cera, comprimento médio, secção transversal circular e intensidade regular de joçal no dorso. A aurícula é do tipo lanceolada de tamanho médio, presente em um só lado. A forma do “dewlap” é curva, de cor verde. A

lígula é crescente. Manchas nas bainhas são eventuais. O florescimento é intenso, apresentando isoporização média (COPERSUCAR, 1995).

### 2.1.1.3 Fases fenológicas

A fenologia estuda as mudanças exteriores (morfologia) e as transformações que estão relacionadas ao ciclo da cultura. Representa, portanto, o estudo de como a planta se desenvolve ao longo de suas diferentes fases: germinação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação.

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

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

Seguindo a divisão de Gascho e Shih (1983), as fases são caracterizadas da seguinte maneira:

**Brotação e emergência:** inicia quando o broto rompe as folhas da gema e se desenvolve em direção à superfície do solo e ao mesmo tempo surgem as raízes do tolete. A emergência do broto ocorre de 20 a 30 DAP. O broto é um caule em miniatura que surge acima da superfície do solo (chamado de colmo primário). Esta fase depende da qualidade da muda, ambiente, época e manejo do plantio. Neste estágio, ocorre ainda o enraizamento inicial (duas a três semanas após a emergência) e o aparecimento das primeiras folhas.

**Perfilhamento:** o perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. O processo de perfilhamento é regulado por hormônios e resulta no crescimento de brotos que vão em direção à superfície do solo. Esses brotos aparecem de 20 a 30 dias após a emergência do colmo primário. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que será colhida. É importante destacar que a formação do sistema radicular da touceira é resultado do desenvolvimento das raízes de cada perfilho. O auge do perfilhamento é quando ocorre a total cobertura do solo pela folhagem das plantas, fase na qual cada touceira possui o máximo de perfilhos.

**Crescimento dos colmos:** a partir do auge do perfilhamento, os colmos sobreviventes continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base. O crescimento é estimulado por luz, umidade e calor. Durante essa fase, as folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam. O crescimento do sistema radicular torna-se mais intenso, tanto nas laterais quanto em profundidade. A maior parte das raízes está nos primeiros 40 centímetros de profundidade, sendo esta a zona principal de absorção de água e nutrientes por parte da cultura. O canavial pode atingir altura acima de três metros, com a população final de colmos, variando em função das condições de clima e solo.

**Maturação dos colmos:** a maturação inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos sobreviventes do perfilhamento das touceiras. É válido mencionar, novamente, que o excesso de açúcar permanece armazenado na base de cada colmo. Quando as touceiras atingem altura igual ou superior a dois metros, nota-se o amarelecimento e a consequente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região. No período entre o outono e o inverno, com a presença de chuvas variáveis e temperaturas mais baixas, existe maior atividade de maturação e menor atividade de crescimento, sendo que há intenso armazenamento de açúcar. O momento da colheita é definido em função da variedade, época de plantio e consequente duração do ciclo, manejo da maturação e condições climáticas no ambiente.



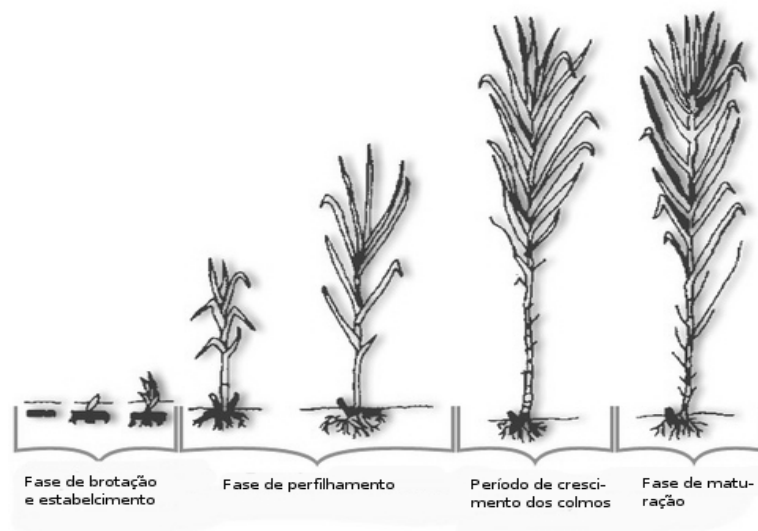


Figura 1 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar  
Adaptado de Gascho e Shih ,1983

#### 2.1.1.4 Sistema radicular

O sistema radicular da cana-de-açúcar é muito amplo e bem desenvolvido, do tipo fasciculado (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007). Existe uma estreita correlação entre o desempenho do sistema radicular e a adaptabilidade da cana para desenvolver-se em diferentes condições hídricas, bióticas ou de textura do solo (CAMARGO, 1976). Os conhecimentos sobre a distribuição das raízes no solo podem orientar a adubação, a irrigação e as intervenções de cultivo. O desempenho do sistema radicular pode ser componente genético, o que é importante para o melhoramento, por exemplo, no aprimoramento da resistência às doenças ou ao estresse hídrico (LACLAU, 2005).

Em cana-planta, as primeiras raízes, denominadas raízes de fixação, desenvolvem-se a partir dos primórdios radiculares do tolete plantado. Aproximadamente nos primeiros 30 dias, a planta sobrevive de reservas nutricionais contidas nos toletes e no material (água e sais minerais) absorvido pelas raízes de fixação. Posteriormente, surgem as raízes dos perfilhos (LUCCHESI, 2001). Entre 90 e 120 dias após o plantio, praticamente 100% do sistema radicular está distribuído nos primeiros 30 cm de solo, onde a maior parte é constituída pelas raízes dos colmos, sendo que as raízes originárias da muda plantada praticamente não mais existem (CÂMARA, 1993). Cada perfilho comporta-se como uma planta independente e,

portanto, cada um possui um sistema radicular próprio. Assim, à medida que aumenta o perfilhamento, aumenta o volume de raízes explorando o solo até um ponto de estabilização, quando simplesmente ocorrem renovações das raízes velhas (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007).

Nos primeiros 30 a 40 cm do perfil do solo concentram-se as raízes superficiais ou fibrosas, que são bem ramificadas e extremamente absorventes. As raízes de fixação atingem profundidades maiores, ultrapassando facilmente 50 cm. Ao contrário do que sugere o nome, a função das raízes de fixação não se restringe exclusivamente à fixação, pois podem perfeitamente absorver água e nutrientes apesar de fazê-lo com menor eficiência do que as raízes superficiais. Finalmente, atingindo profundidades frequentemente maiores do que 5 metros, estão as raízes-cordão (Figura 2).

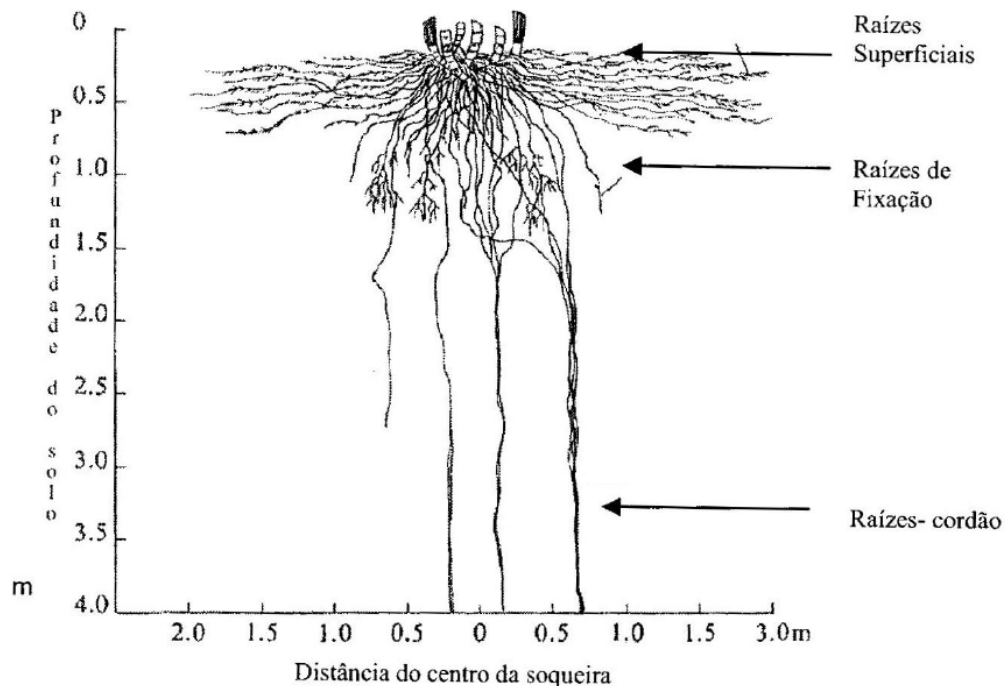


Figura 2 - Sistema radicular da cana-soca estabelecido  
Adaptado de Beauclair e Scarpari, 2007.

Segundo Vasconcelos (2002), a morte ou renovação do sistema radicular não seria devida ao corte da cana, mas sim à condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento. Este autor constatou que, da segunda quinzena de outubro de 1999 a janeiro de 2000, houve uma grande

disponibilidade hídrica, que resultou num grande desenvolvimento radicular. Num período posterior, houve déficit hídrico, condição na qual as plantas não conseguiram manter a grande quantidade de raízes novas, desenvolvidas durante o período anterior, resultando em morte de raízes.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a cana-de-açúcar não necessita de um tipo especial de solo. Os melhores são aqueles com mais de 1,0 m de profundidade. O solo deve estar preferencialmente bem arejado (após uma chuva intensa, com porosidade de aeração de 10 a 12%) e possuir uma quantidade total de água disponível de 15% ou mais. Quando existe lençol freático, seu nível deve estar a uma profundidade maior que 1,5 a 2,0 m.

Dependendo das condições climáticas e do solo, em torno de 90 DAP todo o sistema radicular encontra-se distribuído nos primeiros 30 cm do solo (CASAGRANDE, 1991).

Para Rosolen (1994), quem define a profundidade das raízes da cana-de-açúcar é a água, relatando que a sobrevivência das raízes varia durante o ano agrícola em função das chuvas, quando ocorre veranico e a superfície seca, aumentam então as raízes em profundidade, e estas só ficam vivas onde existe umidade, sendo metabolicamente mais eficaz para a planta eliminar as raízes no período de estresse hídrico e, quando voltar a chover, desenvolver novas raízes.

Aguiar (1978), em estudo do sistema radicular da variedade CB41-14, em Latossolo Vermelho Escuro - fase arenosa, coletou raízes vivas e mortas às profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, durante o ciclo da cana-planta, e verificou que a distribuição das raízes se modificava no perfil, como consequência das condições de umidade. Este autor observou que o máximo de formação das raízes aparentemente vivas se deu de dezembro a março à profundidade de 0-20 cm, de julho a outubro à profundidade de 20-40 cm e de maio a outubro à 40-60 cm, apontando também que as raízes superficiais foram as primeiras a morrer durante o período de estiagem, mas são as primeiras a se renovar durante o período das chuvas. Além disso, o autor observou também que, no período da seca havia predominância de raízes aparentemente mortas em relação às vivas; tão logo começava o período de chuvas, havia uma renovação no sistema radicular, com predominância de raízes

aparentemente vivas; tão logo iniciava o período de maturação, ocorria novamente morte de raízes, chegando ao final do ciclo, época de safra e seca, com o sistema radicular quase todo morto. Isto demonstrou que a cana não forma um sistema radicular definitivo, há alternância de raízes vivas e mortas, durante o ciclo da cultura.

A importância do manejo da cultura sobre o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar e o seu efeito sobre a produtividade agrícola são bem evidenciados por Rosolen (1994), ressaltando alternativas de práticas de manejo que favorecem o desenvolvimento das raízes e que podem resultar em ganhos de produtividade. Exemplificando, o autor relata que, em média, quando o sistema radicular da cana-de-açúcar fica concentrado nos primeiros 40 cm de solo, a cultura suportaria um estresse hídrico de 8 dias, enquanto que, se a profundidade explorada passasse para 1,10 m, o período seco poderia atingir até 22 dias, além de comentar a dinâmica das raízes de cana-de-açúcar na absorção de nutrientes, o comportamento diferenciado das variedades em função de seu sistema radicular, correlacionando o comprimento radicular, em metros, com a absorção de fósforo.

## **2.1.2 Deficiência hídrica**

### **2.1.2.1 Considerações gerais**

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

Cambráia (2005) e Bray (1997) destacam como estresses abióticos a salinidade, o estresse hídrico (deficiência ou excesso), nutrientes minerais (deficiência ou excesso) e temperaturas (altas ou baixas).

As respostas das plantas ao estresse dependem da espécie, do genótipo, da duração e da severidade, da idade e estágio de desenvolvimento, do órgão e tipo de

célula e do comportamento subcelular. Dessa forma, as plantas podem apresentar tolerância ou resistência (quando sobrevive às adversidades) ou suscetibilidade (quando sofre redução em seu crescimento, podendo chegar à morte, dependendo da intensidade do estresse ao qual a planta é submetida) (CAMBRAIA, 2005).

O estresse (déficit) hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas. Desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva do aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas (SANTOS; CARLESSO, 1998).

A capacidade da planta em responder e sobreviver ao estresse hídrico celular depende dos mecanismos internos que integram as respostas celulares, sendo que tais repostas podem ocorrer em alguns segundos ou em poucos minutos ou horas (BRAY, 1997).

Artlip e Wisniewski (2001) separam os mecanismos de resistência ao estresse hídrico em quatro tipos: limitação do crescimento, para minimizar a perda de água; adaptações morfológicas; adaptações fisiológicas; e alterações metabólicas. Os três primeiros são processos complexos, conhecidos incompletamente, porém, progressos significantes já foram obtidos no entendimento das alterações metabólicas.

A taxa fotossintética é uma das variáveis metabólicas que apresentam maior sensibilidade à seca. Porém, as plantas podem continuar realizando fotossíntese por tempo superior àquele destinado ao crescimento em expansão, pois o estômato responde mais lentamente no início do estresse hídrico que o turgor celular, responsável pelo alongamento de células que causa à expansão foliar (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Larcher (2004) relata que um organismo vegetal atravessa uma sucessão de fases características em resposta a estresses: a *fase de alarme*, em que ocorre a perda de estabilidade das estruturas e das reações que mantêm as funções vitais (processos bioquímicos e metabolismo de produção de energia), na qual também a planta pode reagir e se restituir do estresse imposto; a *fase de resistência*, a qual é aumentada sob estresse contínuo, iniciando um processo de rusticidade, no qual, dependendo da duração, a planta pode apresentar adaptação através de ajustamento osmótico; e a

*fase de exaustão*, que ocorre quando o estresse é muito demorado ou sua intensidade aumenta rapidamente, deixando a planta suscetível às infecções que ocorrem como consequência da diminuição das defesas do hospedeiro e levando ao colapso prematuro.

### **2.1.2.2 Deficiência hídrica: cana-de-açúcar**

O déficit hídrico na planta ocorre, na maioria das vezes, quando a taxa de transpiração é superior à de absorção de água, sendo comum durante o ciclo de diversas culturas agrícolas, inclusive em cana-de-açúcar. Assim, um conhecimento adequado de como os vegetais respondem a tal estresse abiótico é um dos pré-requisitos para escolher tanto a melhor variedade como as melhores práticas de manejo, visando, sobretudo, aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais (BRAY, 1997 e SMIT; SINGELS, 2006).

Thompson (1976) afirma que os períodos de deficiência hídrica podem ocorrer durante todo ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana-de-açúcar varia em função da interação entre época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura.

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

Doorenbos e Kassam (1979) afirmam que o efeito da deficiência de água varia com o estágio de desenvolvimento da cana, e que o primeiro estágio é o mais sensível a deficiências hídricas.

Inman-Bamber (2004) ressalta que o tempo de exposição à seca afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar e da planta como um todo, podendo, ainda, levar a uma

redução na interceptação da radiação, na eficiência do uso de água e na fotossíntese, bem como ao aumento da radiação transmitida para a superfície do solo.

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

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

## 2.2 Material e Métodos

### 2.2.1 Localização e caracterização do experimento

O experimento foi realizado na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido (casa de vegetação), situada no município de Piracicaba - SP, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22° 42' 32" S, longitude 47° 37' 45" W e altitude de 548 m (Datum WGS84) (Figura 3).

O clima da região, na classificação climática de Köppen, é do tipo *Cwa*, isto é, subtropical úmido, com três meses mais secos (junho, julho e agosto), caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio, inferior a 18 °C.

A casa de vegetação tem a cobertura de filme plástico de polietileno transparente, de 150 µm de espessura e laterais fechadas, com tela tipo sombrite com 30% de interceptação. Foram distribuídas, em uma área útil de 160 m<sup>2</sup>, 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 (Figura 3), mantendo uma distância de 100 cm das laterais da estufa.



Figura 3 - Localização e vista geral do experimento



Os tratamentos constituíram-se da combinação de: duas variedades de cana-de-açúcar, RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2); quatro profundidades de solo e quatro níveis de déficit hídrico, representados pela evapotranspiração de referência acumulada (EToAc) até o tratamento ser novamente irrigado.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco arenosa, denominado Série “Sertãozinho”. As características químicas e físico-hídricas do solo para as quatro profundidades estudadas estão apresentadas na Tabela 1 e na Tabela 2 respectivamente.

Tabela 1 - Caracterização química do solo

Prof. (cm)	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
	CaCl <sub>2</sub>	(g dm <sup>-3</sup> )	----(mg dm <sup>-3</sup> ) ----			----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----					
0 - 10	5,4	21	39	35	0,9	44	5	16	49,9	65,9	76
0 - 20	5,7	13	51	26	0,6	38	4	15	42,6	57,6	74
0 - 30	5,6	14	76	32	0,6	40	4	16	44,6	60,6	74
0 - 40	5,7	12	91	30	0,6	42	7	15	49,6	64,6	77

Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica do solo

Camada (cm)	CC	PMP	CAD	D <sub>s</sub>	D <sub>p</sub>	PT	Frações granulométricas		
	g g <sup>-1</sup>		(mm)	g cm <sup>-3</sup>		(%)	Areia	Silte	Argila
							%		
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 na capacidade de campo (correspondente ao potencial mátrico ( $\psi_m$ ) de 4,85 kPa). PMP: umidade no ponto de murcha permanente (correspondente ao potencial mátrico ( $\psi_m$ ) de 1500 kPa). CAD: capacidade de água disponível. D<sub>s</sub>: densidade do solo. D<sub>p</sub>: densidade de partículas do solo. PT: porosidade total do solo. Adaptado de Chaves, 2008.

As caixas foram preenchidas com diferentes camadas de pedra brita nº 02, e solo, compondo camadas de 40, 30, 20 e 10 cm, denominadas de S40, S30, S20 e S10, respectivamente. Para a separação da camada de pedra e de solo utilizou-se a manta bidin (Figura 4).

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com gotejador tipo botão autocompensado (PCJ-CNL) com três vazões diferentes em função da profundidade da camada de solo: S40 - 2 gotejadores de 8 L h<sup>-1</sup>; S30 - 2 gotejadores de 4 L h<sup>-1</sup>; S20 - 3

gotejadores de  $2 \text{ L h}^{-1}$ ; e S10 - 2 gotejadores de  $2 \text{ L h}^{-1}$ . Realizava-se a irrigação de forma independente para cada tratamento utilizando-se 32 registros de esfera, sendo que a abertura de cada registro habilitava a irrigação em três caixas.

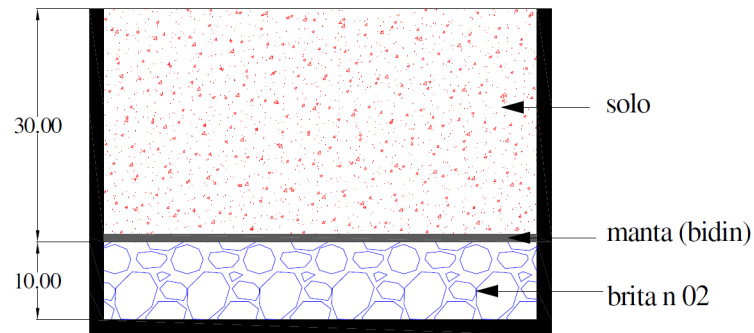


Figura 4 - Esquema de montagem das caixas para os tratamentos de profundidade do solo  
Fonte: Tapparo (2008)

Para adequação ao delineamento experimental foram montados quatro cabeçais de controle com 8 registros cada, sendo dois cabeçais utilizados para o manejo de cada variedade, um habilitando os tratamentos S10 e S20 e outro os tratamentos S30 e S40 (Figura 5).

Foi realizado um teste de uniformidade amostrando-se 25% dos emissores de cada vazão. Para os três modelos de gotejadores, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foi superior a 90% (95, 96 e 96% para 2, 4 e  $8 \text{ L h}^{-1}$  respectivamente) sendo o sistema avaliado como excelente pela classificação de Mantovani (2002).

### 2.2.2 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial  $2 \times 4 \times 4$  com os tratamentos dispostos em faixas, totalizando 32 tratamentos. A parcela experimental é representada por uma caixa contendo quatro touceiras de cana-de-açúcar.

Os tratamentos foram distribuídos em 6 blocos com caixas de mesma profundidade de solo alinhadas, sendo aleatorizada a distribuição das diferentes profundidades em cada bloco (Figura 5).

A análise estatística dos parâmetros avaliados foi realizada utilizando-se o programa SISVAR (Sistema de Análise de Variância Para Dados Balanceados) (FERREIRA, 1999).

### **2.2.3 Plantio e condução da cultura**

Os mini-toletes foram plantados no dia 30 de março de 2010, inicialmente em bandejas de 32 células contendo substrato comercial (Basaplant), sendo em cada célula ( $190 \text{ cm}^3$ ) colocado um mini-tolete com apenas uma gema. Durante o período em que as plantas se desenvolveram nas bandejas foram feitas irrigações diárias em volume suficiente para que o substrato fosse mantido com umidade próxima à capacidade de campo (aproximadamente  $5 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e uma aplicação de fertilizante via água de irrigação fornecendo  $1,0 \text{ mg}$  de nitrogênio por planta.

Ainda durante o desenvolvimento das mudas nas bandejas, as caixas de cimento amianto foram preparadas para a data do transplante, foi aplicado herbicida não seletivo para controle de plantas daninhas e umedecido o solo até atingir a umidade de capacidade de campo.

O transplante das mudas ocorreu aos 32 dias após o plantio (DAP). Para isso foram abertas quatro “covas” no solo de cada caixa com uma profundidade de 8 a 10 cm onde as mudas foram colocadas ainda com o sistema radicular envolvido pelo substrato. A fim de diminuir a infestação de plantas daninhas e minimizar a evaporação da água no solo, após o transplante foi colocada uma camada de palha de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo de todas as caixas ( $500 \text{ g}$  de palha por caixa).

Quanto à adubação, as doses de nutrientes aplicadas para cada tratamento de solo (Tabela 3) foram calculadas seguindo a recomendação de Raij et al. (1997) para uma produção mínima esperada de  $150 \text{ t ha}^{-1}$  e a caracterização química do solo (Tabela 1).

Tabela 3 - Dose equivalente de nutrientes aplicados em kg ha<sup>-1</sup>

Tratamento	48 DAP			71 DAP		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
S10	30	100	100	60	-	60
S20	30	80	100	60	-	100
S30	30	80	100	60	-	100
S40	30	80	100	60	-	100

DAP: Dias após o plantio

As diferentes doses foram aplicadas utilizando como fonte dos nutrientes os adubos ureia, fosfato monoamônico e sulfato de potássio. Foram realizadas duas aplicações, aos 48 DAP e 71 DAP, ambas feitas com aplicação dos adubos dissolvidos em água. Para as condições químicas encontradas neste solo (V% > 60) não se faz necessária a aplicação de calcário para correção do solo no caso da cultura da cana.

Como adubação complementar utilizou-se fertilizante foliar aplicado aos 95 DAP com bomba costal e na diluição de 1,0 mL L<sup>-1</sup>, principalmente para suprir a deficiência de Zinco observada em sintomas nas folhas de alguns perfilhos.

## 2.2.4 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com base em dados de umidade do solo obtidos a partir de leituras de tensiômetros. A umidade foi calculada pela equação de van Genuchten (1980) (eq. 1), com os parâmetros apresentados na Tabela 4.

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

em que:

$\theta$  ( $\psi_m$ ) - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;

$\theta_r$  - umidade volumétrica residual do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;

$\theta_s$  - umidade volumétrica do solo saturado, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;

m e n - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

$\alpha$  - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa<sup>-1</sup>; e

$\psi_m$  - potencial mátrico, em kPa.

Tabela 4 - Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e residual ( $\theta_r$ ), e dos parâmetros empíricos ( $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ ) do modelo de van Genuchten (1980)

Camada (cm)	$\theta_s$ ( $m^3 m^{-3}$ )	$\theta_r$ ( $m^3 m^{-3}$ )	$\alpha$ ( $kPa^{-1}$ )	$m$	$n$
0-10	0,421	0,098	1,3464	0,1799	2,7175
10-20	0,412	0,085	1,5708	0,1648	2,5028
20-30	0,412	0,085	1,5708	0,1648	2,5028
30-40	0,374	0,122	1,1291	0,2749	1,5619

Adaptado de Chaves, 2008

A profundidade de instalação dos tensiômetros variou de acordo com os tratamentos. Foram instalados tensiômetros de punção a 5 cm de profundidade para o tratamento S10; a 5 e 15 cm para o tratamento S20; a 5, 15 e 25 cm para o tratamento S30; e a 5, 15, 25 e 35 cm para o tratamento S40, posicionados na caixa (Figura 6), sendo a profundidade considerada da superfície do solo até o centro da cápsula.

As leituras foram realizadas em um intervalo máximo de três dias utilizando um tensiômetro digital. Considerou-se que o potencial medido por cada tensiômetro representava o potencial médio de uma camada de 10 cm, ou seja, as medidas dos tensiômetros instalados a 5, 15, 25 e 35 cm representavam a umidade das camadas de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm respectivamente. Com as leituras médias do potencial mátrico ( $\psi_m$ ) para cada tratamento, foi calculada a necessidade de irrigação para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

A metodologia de manejo apresentada acima inicialmente foi adotada para todos os tratamentos, sendo que para diferenciação dos tratamentos de níveis de déficit hídrico (N) foi realizada a irrigação de todas as parcelas ao final do dia 01/07/2010 (93 DAP), elevando-se a umidade até a capacidade de campo, e foram suspensas as irrigações durante os períodos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos de déficit hídrico

Tratamento	Data de retorno da irrigação	DAP	Dias sem irrigação	EToAc (mm)
N1	02/07/2010	94	0	0
N2	15/07/2010	107	14	21
N3	23/07/2010	115	22	38
N4	02/08/2010	125	32	58

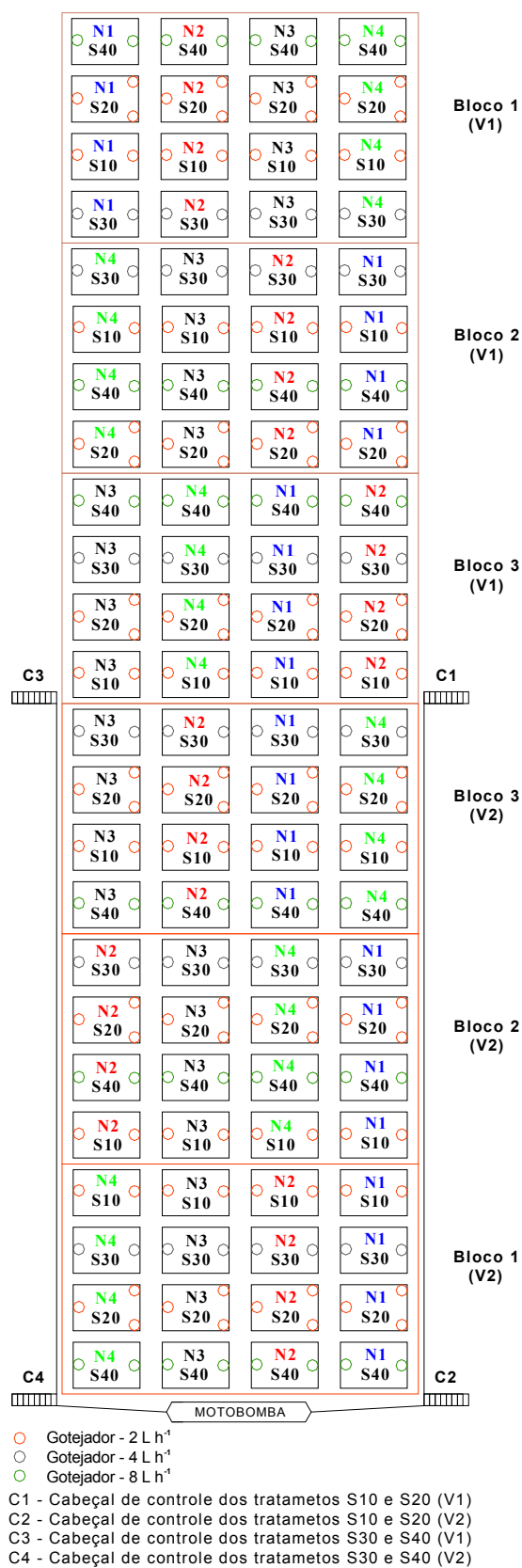


Figura 5 - Croqui de distribuição dos tratamentos na área experimental

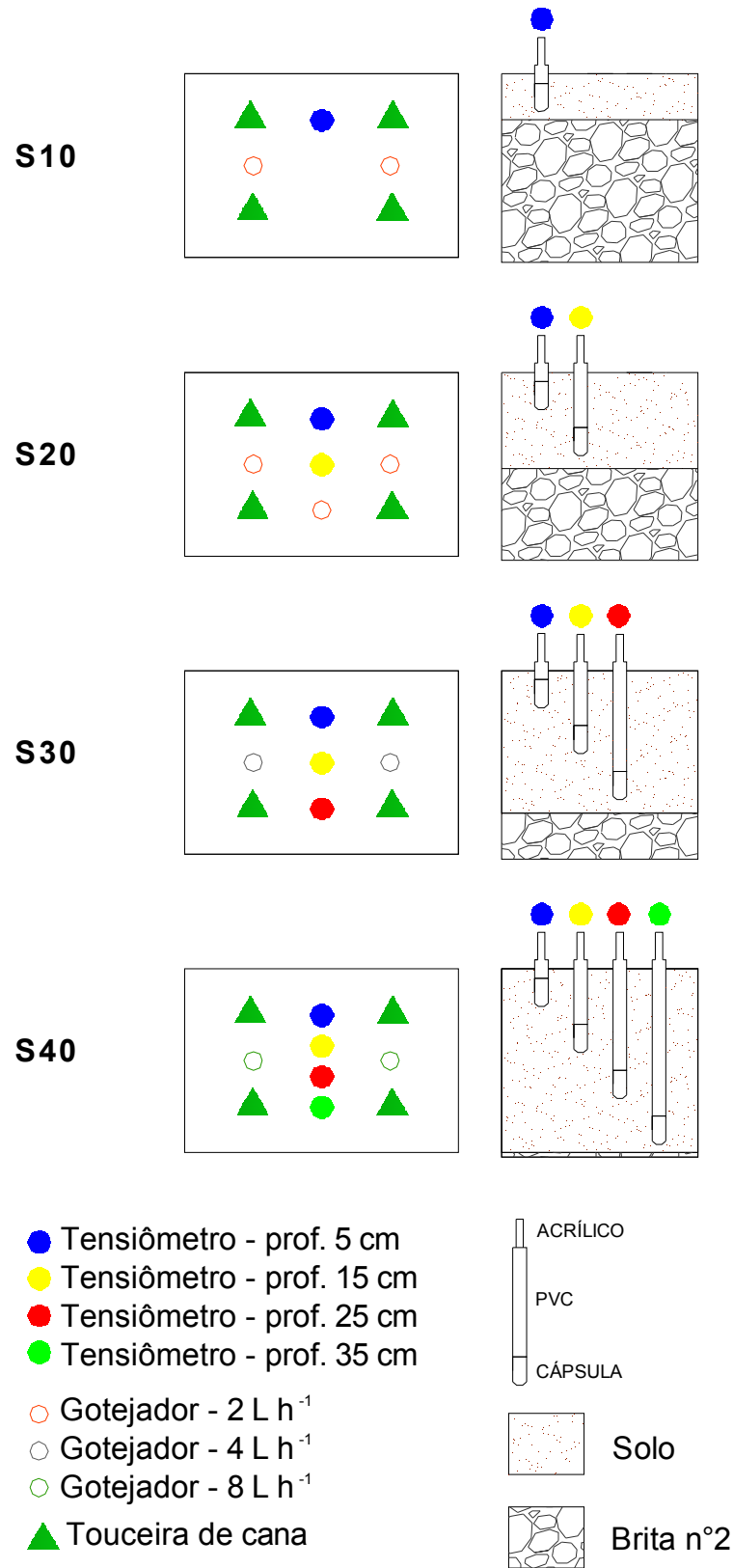


Figura 6 - Profundidade de instalação e posicionamento dos tensiômetros nas caixas

Para o tratamento N4 antes de voltar ao manejo inicial, ainda com o solo na umidade mínima resultante de 58 mm de EToAc, foram retiradas amostras de solo para quantificação da umidade pela metodologia gravimétrica, uma vez que os tratamentos N2, N3 e N4 chegaram a níveis baixos de umidade ( $\psi_m > 90$  kPa), não sendo possível a medida por tensiometria. As amostras retiradas foram colocadas em recipientes de alumínio com peso já determinado e com boa vedação, sendo posteriormente pesadas ( $m_u$ ), levadas à estufa (105 °C) por 48 horas e pesadas novamente ( $m_s$ ) e calculada a umidade atual do solo com a eq. (2).

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad (2)$$

em que:

U - umidade gravimétrica, em  $g\ g^{-1}$ ;

$m_u$  - massa de solo úmido, em g; e

$m_s$  - massa de solo seco em estufa, em g.

Essa metodologia não foi realizada para os demais níveis e em maior frequência 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.

## **2.2.5 Análise das plantas**

### **2.2.5.1 Número de perfilhos**

Aos 133 DAP avaliou-se o perfilhamento em todos os tratamentos contando o número de perfilhos (NP), sendo considerado perfilho todo o broto formado a partir do tolete plantado, incluindo o colmo primário.

### **2.2.5.2 Extensão máxima do colmo primário**

Com o auxílio de uma fita métrica, aos 133 DAP, foi medida a extensão máxima do colmo primário (EMCP) da superfície do solo até a extremidade (ponta) da folha



mais alta (esticada manualmente), sendo esta medida representativa do crescimento total da planta, tanto do colmo quanto das folhas. Aplicando esse método, foi possível avaliar os tratamentos N2 e N3, em que grande parte dos colmos que voltaram a se desenvolver após o período de déficit hídrico apresentou modificações (anomalias) na base das folhas e bainhas (Figura 7A), dificultando a identificação da última região auricular visível da folha +1, segundo o “sistema Kuijper” (Figura 7B), descrito por Van Dillewijn (1952), necessária para a metodologia consagrada de medida de altura de plantas de cana.

### **2.2.5.3 Número de folhas do colmo primário**

O número de folhas do colmo primário (NFPCP) foi obtido contando-se todas as folhas completamente desenvolvidas a partir da folha +1, conforme identificação foliar do “sistema Kuijper” (Figura 7B).

### **2.2.5.4 Número de folhas verdes do colmo primário**

O número de folhas verdes do colmo primário (NFVCP) foi obtido contando-se todas as folhas completamente desenvolvidas a partir da folha +1, conforme identificação foliar do “sistema Kuijper” com pelo menos 20% do limbo foliar ainda visualmente verde.

### **2.2.5.5 Porcentagem de touceiras vivas**

Para análise de sobrevivência das plantas foi avaliada a porcentagem de touceiras vivas aos 136 DAP em cada parcela experimental, sendo que nesta data todas as plantas já tinham retornado à irrigação por no mínimo 11 dias.

Foi adotado um critério visual de avaliação, sendo que as moitas que não apresentavam nenhuma folha verde, nem mesmo as folhas do cartucho, tanto dos perfilhos como do colmo primário e nenhuma emissão de novos perfilhos (Figura 7C), foram consideradas como uma touceira morta. Assim, as parcelas que apresentavam 0,

1, 2, 3 e 4 moitas mortas foram avaliadas respectivamente com 100, 75, 50, 25 e 0% de touceiras vivas.

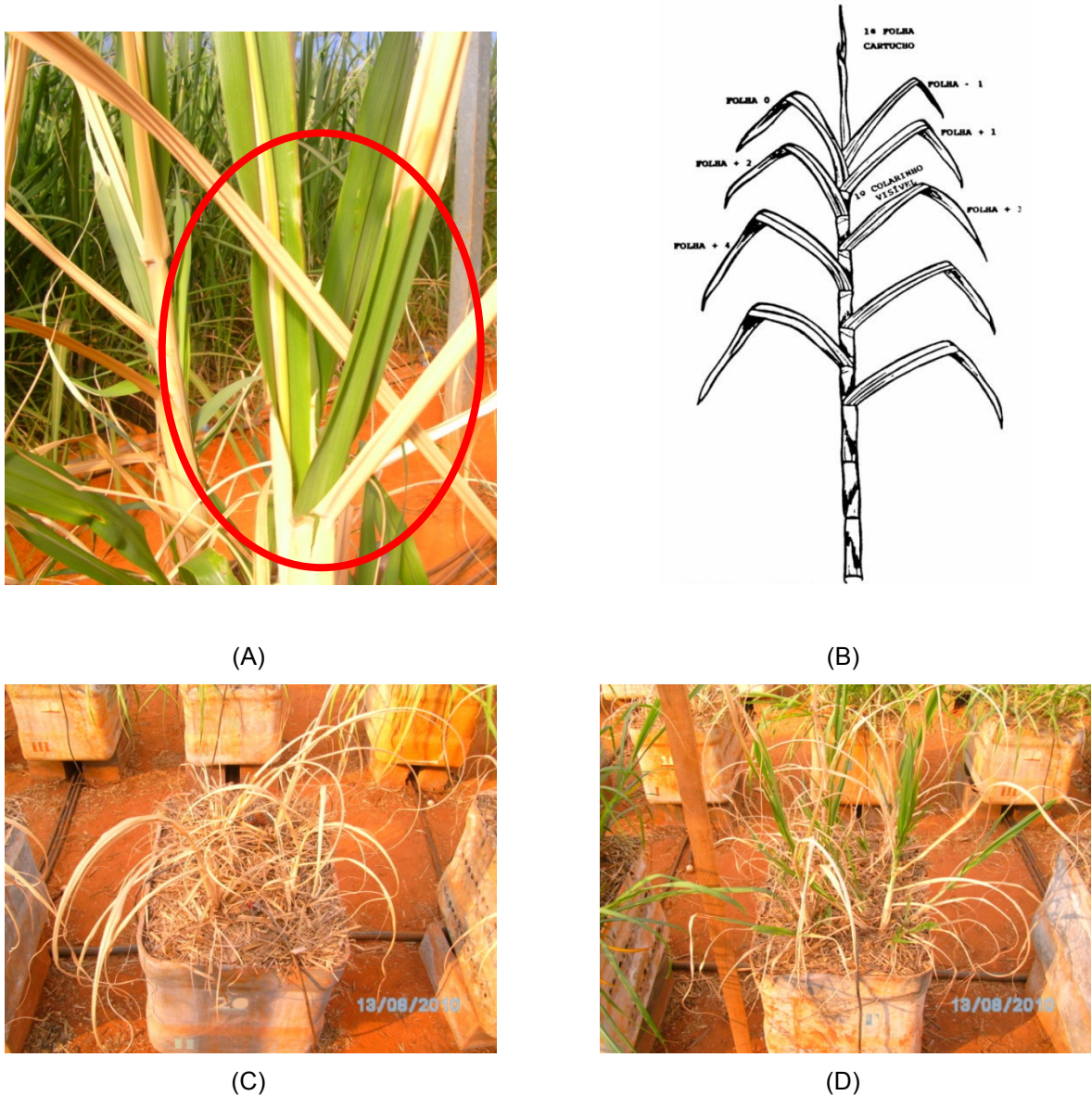


Figura 7 - Detalhe da anomalia na base das folhas (A). Identificação foliar do “sistema Kuijper”(B). Touceiras consideradas mortas (C). Touceiras consideradas vivas (B) - 10 dias após a retomada da irrigação

#### 2.2.5.6 Acúmulo de massa seca

As plantas foram coletadas para análise de massa seca aos 147 DAP e 23 dias após o tratamento N4 ser encerrado, quando todos os quatro níveis de déficit hídrico já

tinham sido aplicados e os tratamentos já estavam sendo manejados novamente para manter a umidade do solo na capacidade de campo.

Para análise de massa seca das touceiras, foram cortados todos os perfilhos, das quatro touceiras cultivadas na parcela experimental. O material retirado das parcelas foi coletado separadamente para quantificação de massa seca de bainha+colmo do colmo primário (MBCP), massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (MBP), massa seca de folhas do colmo primário (MFCP) e massa seca de folhas dos perfilhos (MFP). Para obtenção da massa seca, após o procedimento da coleta, o material foi levado à estufa com sistema de circulação de ar quente forçado, à temperatura de 65 °C até atingir peso constante, que no caso ocorreu após 72 horas. As massas foram medidas em balança analítica digital com precisão de 0,01 g.

## **2.2.6 Balanço hídrico climatológico para o período de déficit hídrico**

### **2.2.6.1 Variáveis meteorológicas**

As variáveis meteorológicas monitoradas foram radiação solar global, por meio de piranômetro (LP02-L12 - Campbell Sci.) e umidade relativa e temperatura do ar, por meio de sensor Vaisala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Os sensores estavam instalados a 2,0 m de altura no centro da estufa.

Com os dados meteorológicos diários foi calculada a evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) pelo método padrão proposto pela FAO ( $E_{To}$ ). Como a velocidade do vento no interior da estufa é muito baixa, esse valor foi fixado em  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ . O Boletim FAO 56 recomenda que, em geral, a velocidade do vento a 2 m ( $u_2$ ) deve ser mantida em um valor mínimo de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ , quando utilizada na equação de  $E_{To}$ . 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. Este efeito ocorre quando a velocidade do vento é baixa e a flutuação de ar quente provoca a troca de ar na superfície. Estabelecendo-se o valor de  $u_2$  igual a  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  na equação  $E_{To}$ , melhora-se a precisão da estimativa nas condições de velocidade do vento muito baixas (ALLEN et al., 1998).

### 2.2.6.2 Capacidade de água disponível no solo

Para o cálculo da capacidade total de água disponível (CAD), utilizou-se a eq. (3) para cada camada de solo. Os valores de CAD acumulada foram 12,11 mm para S10, 24,92 mm para S20, 37,73 mm para S30 e 48,61 mm para S40 (Tabela 6).

$$CAD=(\theta_{cc}-\theta_{pmp})\cdot Z \quad (3)$$

em que:

CAD - capacidade total de água disponível, em mm;

$\theta_{cc}$  - umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, em  $m^3 m^{-3}$ ;

$\theta_{pmp}$  - umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente, em  $m^3 m^{-3}$ ; e

Z - espessura da camada de solo, em mm.

### 2.2.7 Cálculo do balanço hídrico climatológico

O conceito de balanço hídrico (Thornthwaite, 1948) avalia o solo como um reservatório fixo, no qual a lâmina de água armazenada, até o máximo da capacidade de campo, é perdida pela evapotranspiração e repostada pelas precipitações ou irrigações. Assumindo que todos os tratamentos partiram com umidade inicial na capacidade de campo, ou seja, a lâmina inicial do balanço é igual à CAD e que no período em que estavam sendo impostos os tratamentos de níveis de déficit hídrico não ocorreram reposições no sistema, o resultado final do balanço foi estimado pela eq. (4) subtraindo-se da lâmina inicial disponível para cada tratamento (Tabela 6) a lâmina total evapotranspirada nesse período (EToAc).

$$BH_{S_i N_i} = CAD_{S_i} - EToAc_{N_i} \quad (4)$$

em que:

$BH_{S_i N_i}$  - balanço hídrico para o tratamento de solo  $S_i$  e nível de déficit hídrico  $N_i$ , em mm;

$CAD_{S_i}$  - capacidade total de água disponível para o tratamento de solo  $S_i$ , em mm; e

$EToAc_{N_i}$  - evapotranspiração de referência acumulada para o tratamento  $N_i$ , em mm.

Tabela 6 - Dados adaptados para as quatro profundidades estudadas e os respectivos valores de capacidade de água disponível (CAD)

Camada (cm)	<sup>(1)</sup> $\theta_{cc}$ -----( $m^3 m^{-3}$ )-----	<sup>(2)</sup> $\theta_{pmp}$ -----	CAD camada <sup>-1</sup> -----	CAD Acumulada -----
0-10	0,227	0,106	12,11	12,11
10-20	0,226	0,098	12,81	24,92
20-30	0,226	0,098	12,81	37,73
30-40	0,241	0,132	10,88	48,61

<sup>(1)</sup>: Umidade volumétrica para a capacidade de campo. <sup>(2)</sup>: Umidade volumétrica para o ponto de murcha permanente.

O cálculo foi realizado para cada tratamento de profundidade do solo (S) com os quatro níveis de déficit hídrico (N) gerando 16 combinações de balanço hídrico, S10-N1, S10-N2, S10-N3, S10-N4, S20-N1, S20-N2, S20-N3, S20-N4, S30-N1, S30-N2, S30-N3, S30-N4, S40-N1, S40-N2, S40-N3 e S40-N4.

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Dados meteorológicos

O experimento foi conduzido durante 148 dias (30/03/2010 a 25/08/2010) e neste período os valores máximos e mínimos de temperatura ocorreram respectivamente aos 147 DAP (38,79 °C) e aos 138 DAP (7,01 °C) sendo que para a temperatura média (T) os valores variaram de 15,75 °C (138 DAP) a 27,46 °C (25 DAP) (Figura 8). Ainda nesta figura, observa-se que a umidade relativa média (UR) chegou ao máximo de 92,74% aos 105 DAP e ao mínimo de 51,34% aos 147 DAP. Para a radiação solar global (Rs), os valores máximos e mínimos ocorreram aos 13 DAP (14,50 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e 105 DAP (1,22 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) respectivamente.

A ETo diária calculada pelo método de Penman-Monteith é mostrada no gráfico e refletiu a variação dos dados climatológicos, com valor máximo de 2,78 mm dia<sup>-1</sup> na data do plantio, quando a maior quantidade de energia térmica e radiante (26,98 °C e 13,96 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), acompanhada de uma umidade relativa mais baixa (70,62%), resultou na estimativa de uma maior perda de água do solo para a atmosfera. O menor valor de ETo (0,70 mm dia<sup>-1</sup>) ocorreu aos 105 DAP quando se teve a menor radiação e maior umidade relativa de todo o período, uma vez que a radiação solar é a variável de maior efeito sobre a estimativa do valor de ETo (CONCEIÇÃO; MARIN, 2004).

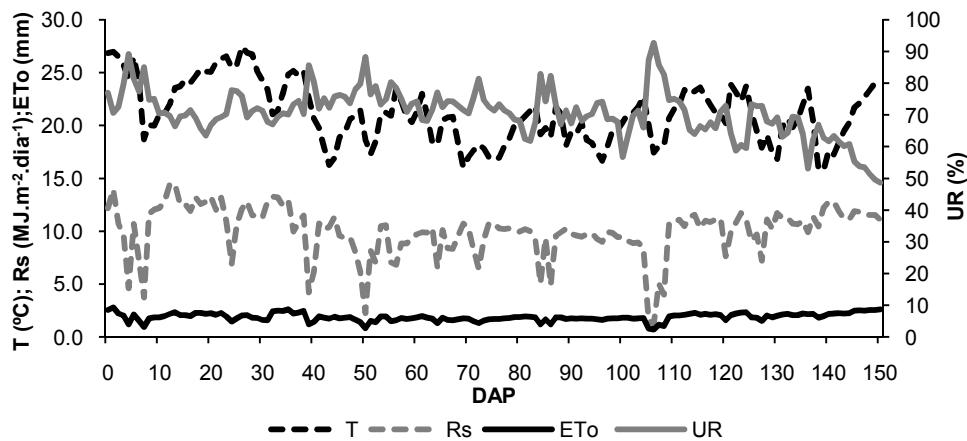


Figura 8 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura média (T), radiação solar (Rs) e umidade relativa média (UR), e da evapotranspiração de referência (ETo) estimada

Para o período em que foram impostos os tratamentos de níveis de déficit hídrico (94 aos 125 DAP), os dados meteorológicos estão apresentados na Tabela 7, juntamente com os dados de evapotranspiração acumulada no início ( $EToAc_i$ ) e no final ( $EToAc_f$ ) de cada dia. Para o tratamento N1 não ocorre acúmulo de ETo, uma vez que ao início do dia 02/07/2010 (94 DAP) o manejo da irrigação já foi realizado novamente. Durante o período de 94 a 107 DAP (N2), tanto a temperatura como a radiação se mantiveram com os valores mais baixos entre os tratamentos, com média de 19,4 °C e 7,8 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> resultando em uma ETo média de 1,6 mm dia<sup>-1</sup>. A partir dos 109 DAP, ocorreram os maiores valores de temperatura, radiação e conseqüentemente de ETo do período, elevando a ETo média do N3 (94 a 115 DAP) e N4 (94 a 125 DAP) a 1,7 e 1,8 mm dia<sup>-1</sup> respectivamente. Além disso, nos dias finais do N3, ocorreu o maior valor de ETo (2,3 mm aos 114 DAP) e, no período em que apenas o N4 ainda não havia retornado ao manejo inicial (115 aos 125 DAP), os valores de ETo não foram superiores a 2,0 mm dia<sup>-1</sup> apenas para dois dias (120 e 125 DAP).

### 2.3.2 Dados de umidade do solo

A umidade do solo para o tratamento sem déficit hídrico (N1) e para os demais tratamentos quando irrigados se manteve próxima à capacidade de campo, uma vez que as leituras de potencial de água no solo estiveram, em média, sempre abaixo de 25 kPa.

Cambráia (2005) afirma que as respostas das plantas ao estresse dependem de vários fatores, como, da espécie, do genótipo, da duração e da severidade, da idade e estágio de desenvolvimento, do órgão e tipo de célula e do comportamento subcelular. Comparando-se a umidade no dia de máximo nível de déficit hídrico (02/8/2010) com a medida nos dias após o retorno da irrigação (05/8/2010) (Tabela 8), fica claro que, independente da profundidade, a umidade do solo atingiu valores médios abaixo do ponto de murcha, quando no máximo déficit, ou seja, o déficit hídrico imposto para o tratamento N4 foi muito severo. Porém, a umidade retornou a valores médios próximos à capacidade de campo logo após o reinício das irrigações, sendo necessária uma discussão mais a frente sobre a duração do déficit hídrico.

Tabela 7 - Dados diários de temperatura média (T), umidade relativa média (UR), radiação solar global (Rs) e da estimativa da evapotranspiração de referência diária (ETo) e acumulada (EToAc) para o período de condução dos níveis de déficit hídrico

Data	DAP	T (°C)	UR (%)	Rs (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	ETo (mm)	<sup>(1)</sup> EToAc <sub>i</sub> (mm)	<sup>(2)</sup> EToAc <sub>f</sub> (mm)
02/7/2010	94	18,3	70,2	9,8	1,7	0,0	1,7
03/7/2010	95	17,5	73,8	9,3	1,7	1,7	3,4
04/7/2010	96	<sup>(4)</sup> 16,6	74,2	9,0	1,6	3,4	5,0
05/7/2010	97	18,0	68,6	9,9	1,7	5,0	6,7
06/7/2010	98	19,5	68,9	9,8	1,8	6,7	8,5
07/7/2010	99	19,5	67,8	9,5	1,8	8,5	10,3
08/7/2010	100	20,3	<sup>(4)</sup> 56,7	9,4	1,8	10,3	12,1
09/7/2010	101	21,1	63,2	9,1	1,8	12,1	13,9
10/7/2010	102	21,2	69,7	8,9	1,7	13,9	15,6
11/7/2010	103	21,7	71,3	8,9	1,8	15,6	17,4
12/7/2010	104	22,7	66,0	8,5	1,8	17,4	19,2
13/7/2010	105	20,1	87,2	1,5	0,8	19,2	20,0
14/7/2010	106	17,4	<sup>(3)</sup> 92,7	<sup>(4)</sup> 1,2	<sup>(4)</sup> 0,7	20,0	20,7
15/7/2010	107	18,0	85,8	5,0	1,2	20,7	21,9
16/7/2010	108	18,1	82,7	4,0	1,0	21,9	22,9
17/7/2010	109	20,7	74,7	10,8	1,9	22,9	24,8
18/7/2010	110	21,6	75,1	11,0	2,0	24,8	26,8
19/7/2010	111	22,1	74,3	11,1	2,0	26,8	28,8
20/7/2010	112	23,4	71,6	10,5	2,1	28,8	30,9
21/7/2010	113	23,0	65,3	11,4	2,2	30,9	33,1
22/7/2010	114	23,2	63,9	11,6	<sup>(3)</sup> 2,3	33,1	35,4
23/7/2010	115	23,6	66,5	10,3	2,1	35,4	37,5
24/7/2010	116	22,7	65,4	11,0	2,2	37,5	39,7
25/7/2010	117	22,0	67,8	10,9	2,1	39,7	41,8
26/7/2010	118	21,2	65,8	11,1	2,2	41,8	44,0
27/7/2010	119	21,1	71,0	11,2	2,1	44,0	46,1
28/7/2010	120	20,2	72,9	7,6	1,6	46,1	47,7
29/7/2010	121	<sup>(3)</sup> 23,9	64,1	9,9	2,0	47,7	49,7
30/7/2010	122	23,2	58,7	10,8	2,2	49,7	51,9
31/7/2010	123	22,3	60,5	<sup>(3)</sup> 11,7	<sup>(3)</sup> 2,3	51,9	54,2
01/8/2010	124	23,7	59,6	11,1	<sup>(3)</sup> 2,3	54,2	56,5
02/8/2010	125	21,3	73,3	9,1	1,9	56,5	58,4

<sup>(1)</sup>EToAc<sub>i</sub> - Dados de evapotranspiração acumulada no início do dia

<sup>(2)</sup>EToAc<sub>f</sub> - Dados de evapotranspiração acumulada no final do dia

<sup>(3)</sup>Valor máximo da variável para este período

<sup>(4)</sup>Valor mínimo da variável para este período



Tabela 8 - Dados médios de umidade gravimétrica do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ) para as datas de máximo déficit (02/8/2010) e após o retorno da irrigação (05/8/2010) para as diferentes profundidades de solo para ambas as variedades

Tratamento	RB867515		SP81-3250	
	02/8/2010	05/8/2010	02/8/2010	05/8/2010
S10	0,043	0,144	0,040	0,145
S20	0,047	0,140	0,053	0,154
S30	0,050	0,147	0,056	0,156
S40	0,046	0,156	0,053	0,158
Média	0,047	0,147	0,051	0,153

### 2.3.3 Parâmetros referentes ao desenvolvimento das plantas

#### 2.3.3.1 Efeito das diferentes profundidades de solo nos parâmetros de desenvolvimento das plantas sem restrição hídrica

Segundo Câmara (1993), entre 90 e 120 DAP, praticamente 100% do sistema radicular está distribuído nos primeiros 30 cm de solo, onde a maior parte é constituída pelas raízes dos colmos, sendo que as raízes originárias da muda plantada praticamente não mais existem. Porém, existe uma estreita correlação entre o desempenho do sistema radicular e a adaptabilidade da cana para desenvolver-se em diferentes condições hídricas, bióticas ou de textura do solo (CAMARGO, 1976).

Assim, para avaliar o desenvolvimento das variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2), inicialmente foi realizada a análise de variância dentro do tratamento N1, em que o desenvolvimento das plantas ocorreu independentemente do déficit hídrico, para as quatro profundidades de solo. O objetivo desta análise foi verificar se houve diferença no desenvolvimento das plantas, conseqüentemente também do sistema radicular, para as diferentes profundidades do solo, independentemente de restrição hídrica, ou seja, as plantas teriam condições diferentes de adaptabilidade pelo melhor desempenho do sistema radicular (CAMARGO, 1976) proporcionado pelo maior volume de solo.

As diferentes profundidades de solo causaram respostas significativamente distintas para os parâmetros: extensão máxima do colmo primário (EMCP), massa seca

das folhas do colmo primário (MFCP), massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (MBP) e massa seca de folhas dos perfilhos (MFP) a um nível de 1% de probabilidade (Tabela 9). As variedades se diferenciaram no número de folhas verdes do colmo primário (NFVCP) e massa seca de bainha+colmo do colmo primário (MBCP) ao nível de 5% e no número de perfilhos da touceira (NP), MFCP, MBP e MFP a um nível de 1% de probabilidade. O número de folhas do colmo primário (NFCP) não foi influenciado pelos tratamentos.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) submetidas a quatro profundidades de solo (S) no tratamento sem restrição hídrica (N1)

FV	Estatística F								
	GL	NFCP	NFVCP	NP	EMCP	MBCP	MFCP	MBP	MFP
S	3	0,42 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	3,04 <sup>ns</sup>	7,58**	0,94 <sup>ns</sup>	6,21**	6,19**	6,76**
Var	1	0,42 <sup>ns</sup>	4,87*	14,45**	4,21 <sup>ns</sup>	7,85*	9,41**	29,62**	13,29**
S x Var	3	0,42 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
Bloco	2	1,36 <sup>ns</sup>	6,39**	2,03 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	3,30 <sup>ns</sup>	4,06*	2,28 <sup>ns</sup>
CV(%)		5,78	15,58	14,73	5,43	17,91	9,38	20,54	23,47
Média Geral		10,92	4,75	8,75	170,46	14,44	15,04	15,12	15,77
Média V1		10,83	4,42	7,75	166,58	15,92	15,92	11,67	13,02
Média V2		11,00	5,08	9,75	174,33	12,96	14,16	18,57	18,53

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

NFCP: número de folhas do colmo primário. NFVCP: número de folhas verdes do colmo primário. NP: número de perfilhos da touceira. EMCP: extensão máxima do colmo primário (cm). MBCP: massa seca de bainha+colmo do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MFCP: massa seca das folhas do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MBP: massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>). MFP: massa seca de folhas dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>).

As diferenças que ocorrem demonstram que as plantas submetidas ao tratamento S10 (10 cm de solo) tiveram seu desenvolvimento prejudicado pelo pouco volume de solo a ser explorado pelas raízes, independentemente de ter sido suprida toda a necessidade hídrica da cultura ao longo do desenvolvimento, mostrada pela diferença significativa entre S10 e S40 pelo teste de Tukey (Tabela 10).

Os resultados seguem a ideia descrita por Baran et al. (1974), citado por Buso (2006), em que o autor explica que a produção de cana pode ser mais econômica em um solo com média fertilidade, mas com alta disponibilidade de água e que permita o desenvolvimento das raízes em profundidade, do que em um solo com alta fertilidade,

mas baixa disponibilidade de água, não promovendo o crescimento do sistema radicular em profundidade, concentrando-o na superfície.

As maiores médias de NFVCP, NP, MBP e MFP para a V2 e MBCP e MFCP para a V1 são resultado das características das variedades. O bom perfilhamento da variedade SP 81-3250 resultou em uma diferença no número de perfilhos e consequentemente na massa destes. A alta velocidade de crescimento da variedade RB867515 fez com que o colmo primário apresentasse desenvolvimento superior, refletido na maior MBCP e MFCP.

Tabela 10 - Análise de médias dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 e SP81-3250 submetidas a quatro profundidades de solo (S) no tratamento sem restrição hídrica (N1)

Tratamento	NFCP	NFVCP	NP	EMCP	MBCP	MFCP	MBP	MFP
S10	<sup>(1)</sup> 11,17 a	4,50 a	7,67 a	156,83 b	13,10 a	13,13 b	10,47 b	10,50 b
S20	10,83 a	4,33 a	8,33 a	171,50 ab	15,08 a	15,25 ab	16,88 a	15,07 ab
S30	10,83 a	5,12 a	9,67 a	171,33 ab	14,20 a	15,17 ab	17,25 a	18,47 a
S40	10,83 a	5,00 a	9,33 a	182,17 a	15,37 a	16,62 a	15,87 a	19,05 a

<sup>(1)</sup>: médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

NFCP: número de folhas do colmo primário. NFVCP: número de folhas verdes do colmo primário. NP: número de perfilhos da touceira. EMCP: extensão máxima do colmo primário (cm). MBCP: massa seca de bainha+colmo do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MFCP: massa seca das folhas do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MBP: massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>). MFP: massa seca de folhas dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>).

Como a profundidade de solo foi uma fonte de variação significativa para boa parte dos parâmetros analisados, o comportamento de cada variedade em relação ao déficit hídrico foi analisado para cada nível de profundidade, para diferentes condições, iniciando com um cenário desfavorável de preparo do solo, em que apenas a camada de 10 cm estaria em condições químicas (correção e adubação) e físicas (descompactação) para o bom desenvolvimento da planta, até um cenário ideal, com um preparo mínimo de 40 cm de solo para o desenvolvimento das plantas.

### 2.3.3.2 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 10 cm

Todos os parâmetros de desenvolvimento da planta foram afetados significativamente (1% de probabilidade) pela EToAc quando analisados os dados para o tratamento S10 (10 cm de solo), sendo que para NFVCP, NP, MBP e MFP ocorreu diferença significativa também para as variedades. A diferença entre as médias das variedades analisadas pelo teste F (Tabela 11) mostra que a SP81-3250 manteve uma de suas principais características, o bom perfilhamento. Mesmo em condições restritas de solo, esta apresentou um maior número de perfilhos por touceira, 6,75 em média, e MBP, MFP e NFVCP também superior à RB867515.

Na Figura 9 e 10 estão apresentadas as relações entre a EToAc e as variáveis de desenvolvimento. As equações apresentaram bom ajuste aos dados médios com valores de  $R^2$  acima de 0,70. Em maiores valores de EToAc, as variedades apresentaram comportamento semelhante para todos os parâmetros estudados.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc no tratamento S10

FV	Estatística F								
	GL	NFCP	NFVCP	NP	EMCP	MBCP	MFCP	MBP	MFP
EToAc	3	16,01**	50,53**	14,17**	26,64**	72,47**	99,35**	93,61**	49,32**
Var	1	0,51 <sup>ns</sup>	11,71**	11,86**	0,05 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	30,50**	21,52**
EToAc x Var	3	0,21 <sup>ns</sup>	4,32*	1,10 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	2,24 <sup>ns</sup>	2,96 <sup>ns</sup>	7,41**	4,40*
Bloco	2	0,68 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	3,32 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>
CV(%)		8,93	41,35	11,38	8,24	18,68	13,23	23,03	28,35
MG		9,63	1,87	6,25	126,04	6,84	7,62	4,56	5,01
Média V1		9,50	1,33	5,75	126,50	7,13	7,67	3,38	3,67
Média V2		9,75	2,42	6,75	125,58	6,55	7,56	5,74	6,36

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

NFCP: número de folhas do colmo primário. NFVCP: número de folhas verdes do colmo primário. NP: número de perfilhos da touceira. EMCP: extensão máxima do colmo primário (cm). MBCP: massa seca de bainha+colmo do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MFCP: massa seca das folhas do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MBP: massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>). MFP: massa seca de folhas dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>).

O NP foi o parâmetro que se mostrou menos responsivo aos valores de EToAc, pois os coeficientes angulares foram os menores em valor absoluto (menos negativos)

entre todos os parâmetros (Figura 9C). Para NFVCP, MBP e MFP, em que existe interação significativa entre EToAc e variedade, a V2 foi mais sensível ao acúmulo de ETo, o que pode ser observado pelo maior valor absoluto do coeficiente angular da equação de ajuste em relação a V1 (Figura 9B, 10C e 10D).

A EMCP foi o parâmetro mais sensível, com o maior valor absoluto de coeficiente angular, sendo muito afetado pela EToAc (Figura 9D). Segundo alguns autores, como Silva et al. (2008), a variação na altura da planta é um indicativo de tolerância ou suscetibilidade da cana-de-açúcar ao déficit hídrico. Para esse caso, a EMCP foi um bom indicativo de susceptibilidade de ambas as variedades, pois na resposta ao déficit hídrico a EMCP chegou a diminuir em aproximadamente 8,0 cm para cada 10 mm de EToAc, independentemente da variedade considerada.

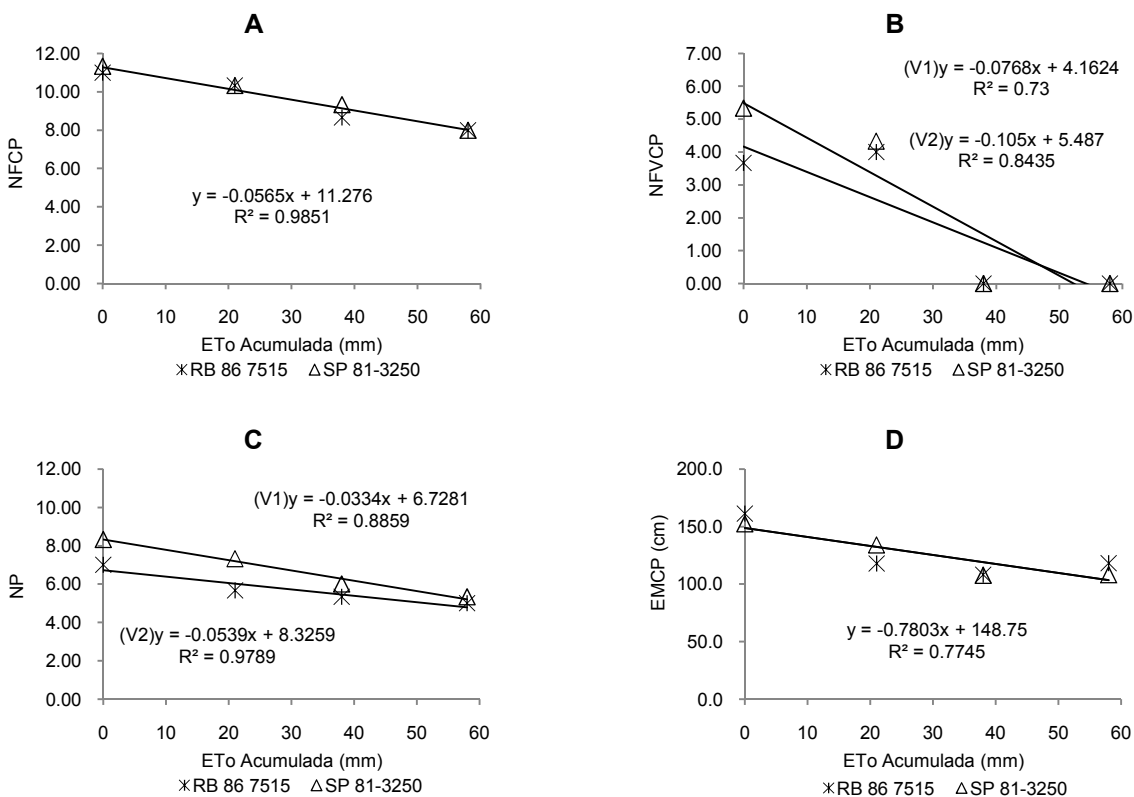


Figura 9 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 10 cm em função da ETo acumulada

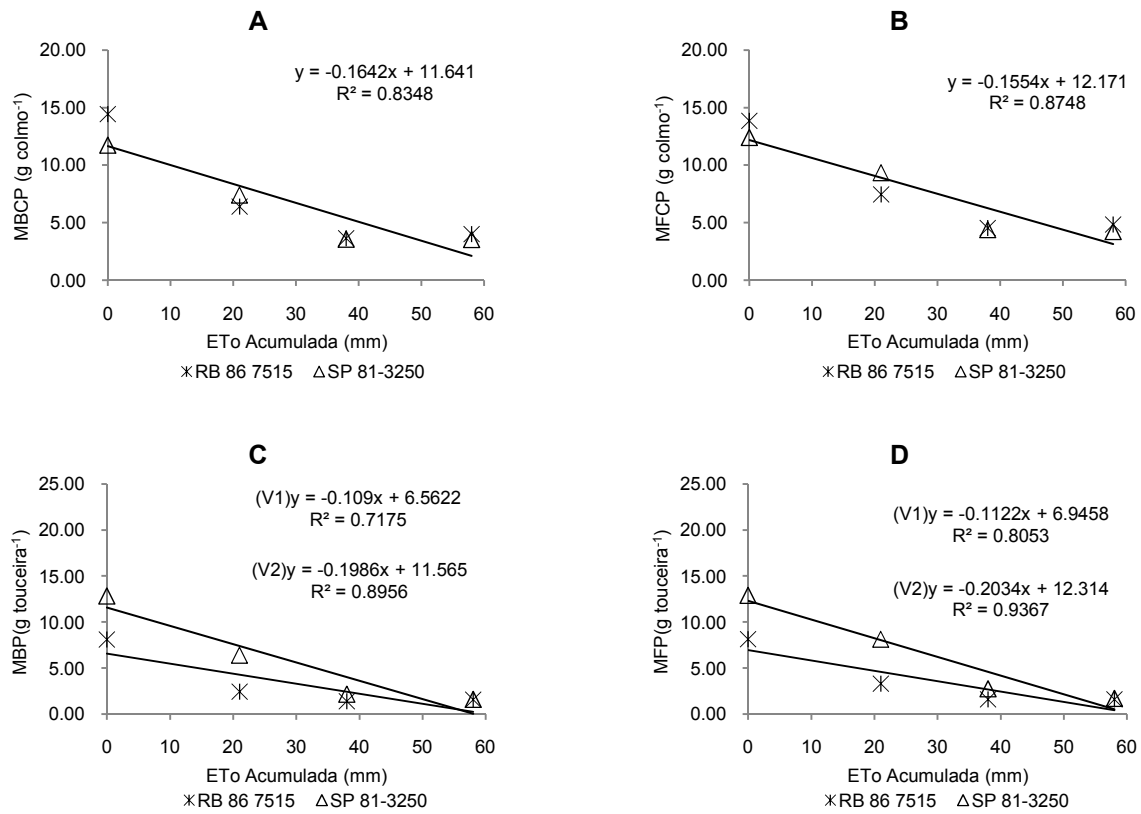


Figura 10 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 10 cm em função da ETo acumulada

### 2.3.3.3 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 20 cm

Considerando-se uma camada de solo de 20 cm (S20) todos os parâmetros analisados de desenvolvimento da planta apresentam diferença significativa para a fonte de variação EToAc. Foram observadas diferenças significativas nas variedades quanto ao NP, MBP e MFP, sendo os maiores valores para a SP81-3250 (Tabela 12). O EMCP foi o parâmetro com maior resposta à EToAc, tendo um coeficiente angular de -0,7181 para sua equação de ajuste (Figura 11D), enquanto o NP foi o menos sensível, com coeficiente de -0,0232 e -0,0475 para RB867515 e SP81-3250 respectivamente (Figura 11C).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc no tratamento S20

FV	Estatística F								
	GL	NFCP	NFVCP	NP	EMCP	MBCP	MFCP	MBP	MFP
EToAc	3	9,33**	26,48**	6,06**	21,80**	28,13**	60,25**	17,41**	25,81**
Var	1	0,27 <sup>ns</sup>	3,52 <sup>ns</sup>	10,67**	0,01 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	19,05**	12,49**
EToAc x Var	3	0,44 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	3,19*	2,25*
Bloco	2	2,07 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	3,04 <sup>ns</sup>	4,52*	3,18 <sup>ns</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
CV(%)		7,97	41,22	13,48	6,47	23,65	13,44	37,71	25,53
MG		9,92	2,38	7,42	146,96	9,08	10,05	9,54	9,59
Média V1		10,00	2,00	6,75	146,83	8,93	9,91	6,33	7,83
Média V2		9,83	2,75	8,08	147,08	9,23	10,18	12,74	11,36

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

NFCP: número de folhas do colmo primário. NFVCP: número de folhas verdes do colmo primário. NP: número de perfilhos da touceira. EMCP: extensão máxima do colmo primário (cm). MBCP: massa seca de bainha+colmo do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MFCP: massa seca das folhas do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MBP: massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>). MFP: massa seca de folhas dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>).

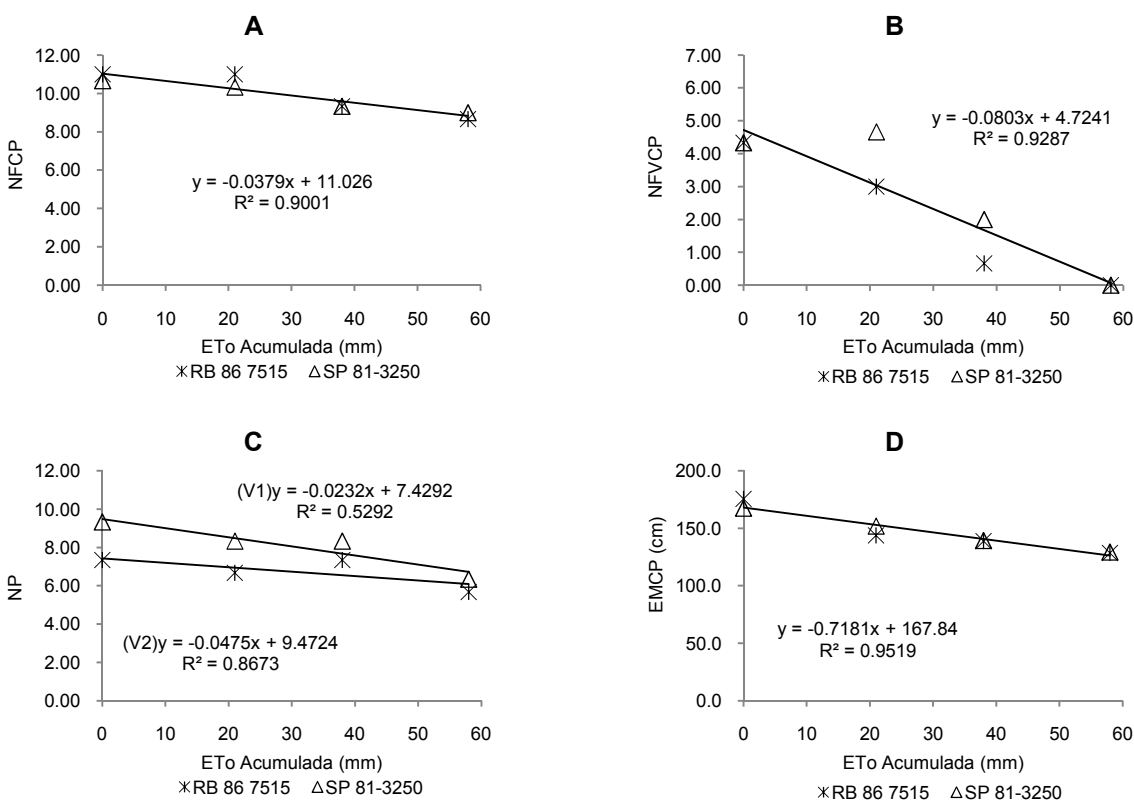


Figura 11 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 20 cm em função da ETo acumulada

A SP81-3250 teve uma queda mais acentuada na MBP (Figura 12C) e MFP (Figura 12D), com interação entre variedade e EToAc significativa a 5% de probabilidade, mostrando que para estes parâmetros a V1 apresentou significativamente maior tolerância ao déficit hídrico.

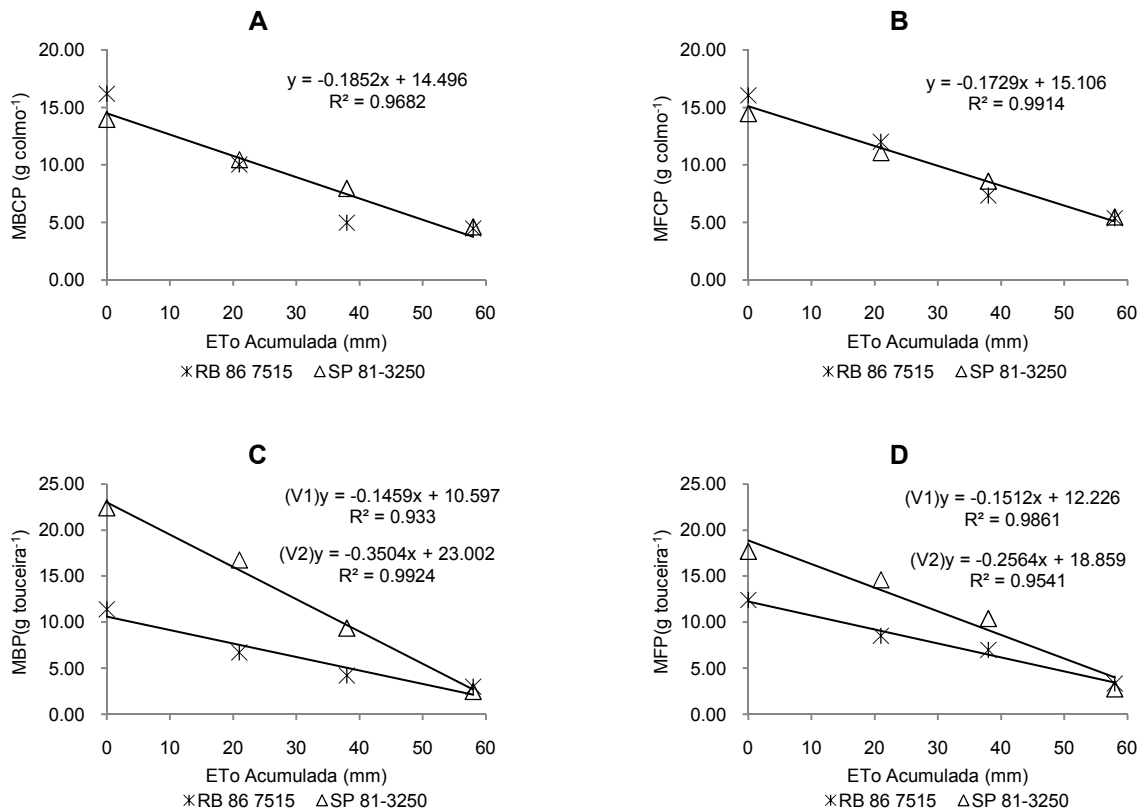


Figura 12 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 20 cm em função da ETo acumulada

### 2.3.3.4 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 30 cm

No solo com profundidade de 30 cm, apenas para NFVCP e MFCP foi detectada diferença significativa entre as variedades (Tabela 13). Para NFVCP a maior média foi da SP81-3250, com 3,17 folhas verdes no colmo primário, e para MFCP a média maior foi da RB867515 com 11,54 g de folha no colmo principal.



Tabela 13 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc no tratamento S30

FV	Estatística F								
	GL	NFCP	NFVCP	NP	EMCP	MBCP	MFCP	MBP	MFP
EToAc	3	3,96**	49,33**	6,17**	9,35**	20,46**	57,22**	20,48**	12,01**
Var	1	0,06 <sup>ns</sup>	5,88*	1,15 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	6,22*	2,54 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
EToAc x Var	3	1,52 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	2,63 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,79 <sup>ns</sup>	3,35 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
CV(%)		7,91	30,60	17,73	9,21	26,75	12,92	31,13	34,71
MG		10,46	2,75	8,58	149,54	9,36	10,83	10,86	13,01
Média V1		10,42	2,33	8,25	151,75	10,12	11,54	9,75	12,38
Média V2		10,50	3,17	8,92	147,33	8,60	10,12	11,96	13,64

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

NFCP: número de folhas do colmo primário. NFVCP: número de folhas verdes do colmo primário. NP: número de perfilhos da touceira. EMCP: extensão máxima do colmo primário (cm). MBCP: massa seca de bainha+colmo do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MFCP: massa seca das folhas do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MBP: massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>). MFP: massa seca de folhas dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>).

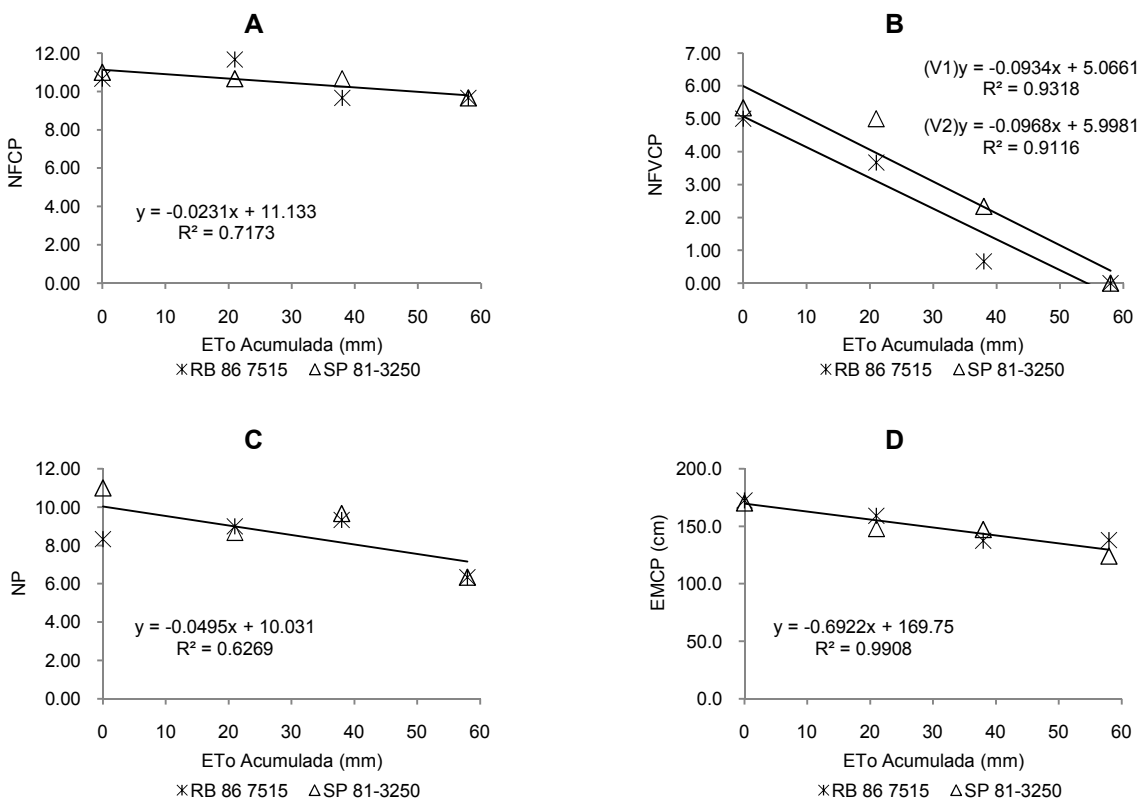


Figura 13 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 30 cm em função da ETo acumulada

Para o NFVCP e MFCP não ocorreu interação entre variedade e EToAc, sendo os comportamentos das variedades muito semelhantes entre si. Com o aumento da restrição hídrica, nota-se que as retas se tornam praticamente paralelas (Figura 13B e Figura 14B) e os coeficientes angulares são bem semelhantes. Por exemplo, para NFVCP os coeficientes são -0,0934 e -0,0968 para V1 e V2 respectivamente. Os valores de coeficientes semelhantes mostram que a superioridade da V1 quanto à MFCP e da V2 quanto ao NFVCP se mantém independentemente do déficit hídrico imposto.

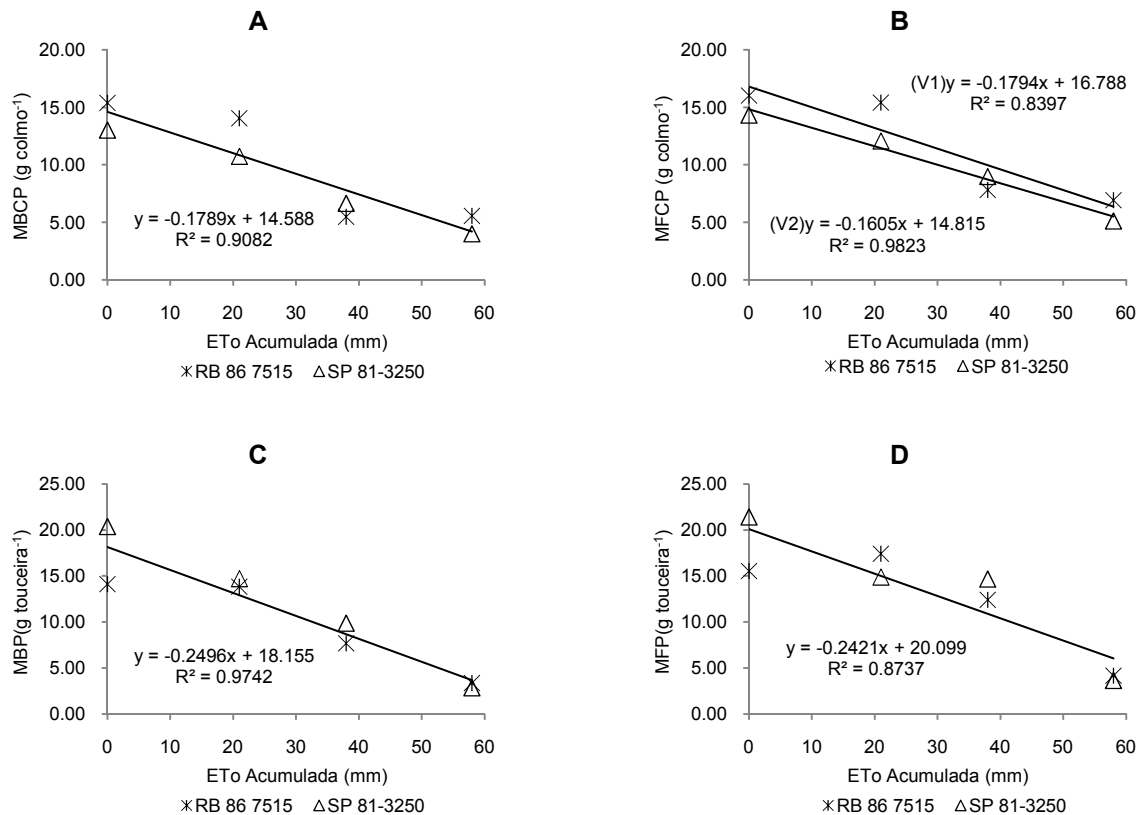


Figura 14 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 30 cm em função da ETo acumulada

Quanto à EToAc, todos os parâmetros responderam significativamente, a um nível de 1% de probabilidade (Tabela 13), destacando-se a maior sensibilidade para EMCP, com coeficiente angular de -0,6922 (Figura 13D) e a menor para NFVCP, com

coeficiente angular de -0,0231 (Figura 13A). Ou seja, são necessários aproximadamente 43 mm de EToAc para que o número de folhas caia em uma unidade, enquanto a EMCP cairá quase 30 cm com esse mesmo valor.

### 2.3.3.5 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros de desenvolvimento das plantas para uma camada de solo de 0 a 40 cm

Para solos mais profundos (S40), os parâmetros NFCP e NP não apresentaram diferença significativa para os valores de EToAc. Isto porque a quantidade de água armazenada foi suficiente para que as plantas se adaptassem com o passar do tempo à condição de restrição hídrica. A quantidade de folhas e perfilhos emitidos por ambas as variedades não foi afetada, porém o acúmulo de matéria seca para cada um deles sim, uma vez que os valores de EToAc diminuíram significativamente MBCP, MFCP, MBP e MFP.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de desenvolvimento das plantas para as variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc no tratamento S40

FV	Estatística F								
	GL	NFCP	NFVCP	NP	EMCP	MBCP	MFCP	MBP	MFP
EToAc	3	1,61 <sup>ns</sup>	17,56**	1,63 <sup>ns</sup>	8,73**	9,90**	16,45**	21,82**	19,22**
Var	1	0,13 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	4,49 <sup>ns</sup>	3,29 <sup>ns</sup>	5,68*	7,25*	10,32**	12,72**
EToAc x Var	3	0,85 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,23 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	3,53 <sup>ns</sup>
CV(%)		10,79	36,45	19,18	7,88	29,97	17,42	22,19	20,40
MG		10,33	3,54	8,54	164,13	11,24	12,84	11,25	14,08
Média V1		10,25	3,17	7,83	168,92	12,88	14,07	9,62	11,99
Média V2		10,42	3,92	9,25	159,33	9,60	11,61	12,89	16,18

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

NFCP: número de folhas do colmo primário. NFVCP: número de folhas verdes do colmo primário. NP: número de perfilhos da touceira. EMCP: extensão máxima do colmo primário (cm). MBCP: massa seca de bainha+colmo do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MFCP: massa seca das folhas do colmo primário (g colmo<sup>-1</sup>). MBP: massa seca de bainha+colmo dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>). MFP: massa seca de folhas dos perfilhos (g touceira<sup>-1</sup>).

A EMCP apresentou o menor coeficiente angular (mais negativo), -0,6348, sendo para todas as profundidades o parâmetro mais sensível ao déficit hídrico, o que mostra que a planta se adaptou ao meio diminuindo principalmente os gastos energéticos com o crescimento.

Segundo Inman-Bamber (2004), o alongamento das folhas é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo. Assim, no baixo coeficiente angular da equação de ajuste para EMCP (-0,6348) (Figura 15D), está contabilizada principalmente a diminuição no alongamento foliar causado pelo déficit hídrico, visto também que a massa de colmo+bainha não refletiu tanto o acúmulo de ETo, tendo um coeficiente angular que não chega a -0,20 para ambas as variedades (Figura 16A).

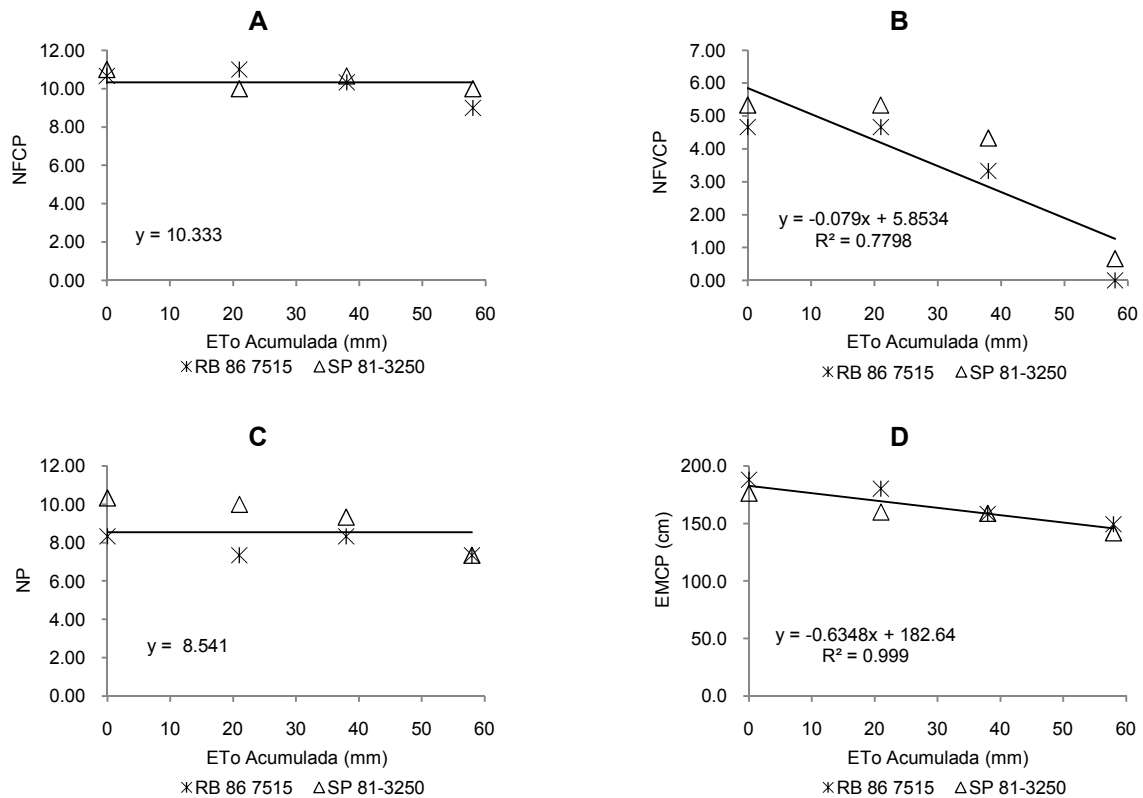


Figura 15 - Número de: (A) folhas do colmo primário, (B) folhas verdes do colmo primário, (C) perfilhos da touceira e (D) extensão máxima do colmo primário, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 40 cm em função da ETo acumulada

A queda de aproximadamente 6 folhas verdes no N1 para 2 folhas verdes no N4 (Figura 15B) é discutida também por Smit e Singels (2006), que afirmam que a deficiência hídrica também causa acentuada senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas, e o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende do genótipo.

O NP não teve diferença para as variedades, mas a SP81-3250 teve um comportamento que segue suas características, perfilhos mais vigorosos quando comparada a MBP e a MFP (Tabela 14); já a RB867515 apresentou maior vigor do colmo primário com uma média de massa seca total (MBCP + MFCP) próxima a 27 g colmo<sup>-1</sup>, 20% a mais que a SP81-3250. Para os valores de MBCP, MFCP, MBP e MFP, para os quais as variedades se diferenciaram significativamente, não ocorreu interação com a EToAc, as variedades mantiveram o mesmo comportamento com o aumento da EToAc (Figura 16).

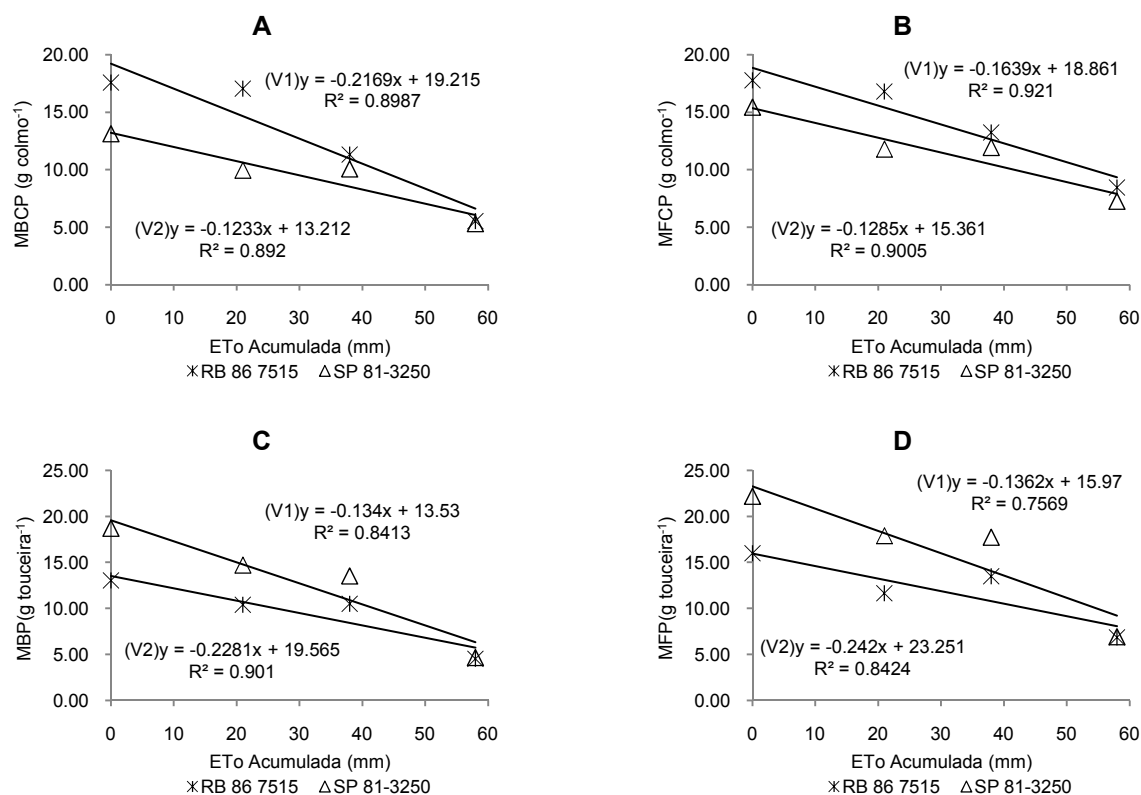


Figura 16 - Massa seca de: (A) bainha+colmo do colmo primário, (B) folhas do colmo primário, (C) bainha+colmo dos perfilhos e (D) folhas dos perfilhos, para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) para o solo com profundidade de 40 cm em função da ETo acumulada

### 2.3.4 Efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico na população final de plantas

O resultado de porcentagem de touceiras vivas é, em última análise, o indicador mais robusto para a estimativa da população final de plantas por unidade de área

cultivada. No resultado da análise de variância para porcentagem de touceiras vivas, em cada tratamento de solo (Tabela 15), a EToAc causou resposta significativamente diferente para os tratamentos S10, S20 e S30 a um nível de 1% de probabilidade. Não houve diferença entre as variedades, nem foi observada interação entre EToAc e variedades. Para o tratamento S40, os níveis de déficit hídrico não resultaram em queda significativa da porcentagem de touceiras vivas.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para a porcentagem de touceiras vivas das variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função da EToAc para as quatro profundidades de solo

FV	Estatística F				
	GL	S10	S20	S30	S40
EToAc	3	228,20**	152,88**	10,86**	2,19 <sup>ns</sup>
Var	1	1,40 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
EToAc x Var	3	0,47 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
Bloco	2	1,40 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>
CV(%)		16,56	12,51	29,73	22,06
MG		52,08 B	73,96 AB	83,33 A	93,75 A
Média V1		50,00	72,92	83,33	91,67
Média V2		54,17	75,00	83,33	95,83

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo. Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade. S10: camada de 0-10 cm de solo. S20: camada de 0-20 cm de solo. S30: camada de 0-30 cm de solo. S40: camada de 0-40 cm de solo.

Nota-se que o coeficiente angular das equações vai se aproximando de zero quanto maior a profundidade (Figura 17). Para 10 cm de profundidade a equação de ajuste apresenta um coeficiente de -1,973, sendo uma condição extremamente sensível ao déficit hídrico (Figura 17A). Para 40 cm de profundidade do solo o coeficiente angular da equação de ajuste foi 0 (Figura 17D). Assim, para os níveis de déficit hídrico aplicados, infere-se que ambas as variedades não teriam redução significativa na população final de plantas desde que cultivadas em solos com profundidade mínima de 40 cm.

Aguiar (1978) amostrou raízes aparentemente vivas e mortas, no Estado de São Paulo, durante um ciclo de cana-planta, e observou que o máximo de formação das raízes aparentemente vivas deu-se de outubro a maio de 0-20 cm, de maio a outubro de 20-40 cm, e de maio a dezembro de 40-60 cm de profundidade. Essas constatações

confirmam que as primeiras raízes a morrer durante um período de estiagem são as superficiais, as quais são as primeiras a se renovar durante o período de chuvas. Com isso, entende-se que, para os tratamentos S10, S20 e S30, a morte das raízes durante o período de déficit hídrico pode ser considerada uma das principais causas da morte das plantas, uma vez que nestes tratamentos as raízes se mantinham todas superficialmente.

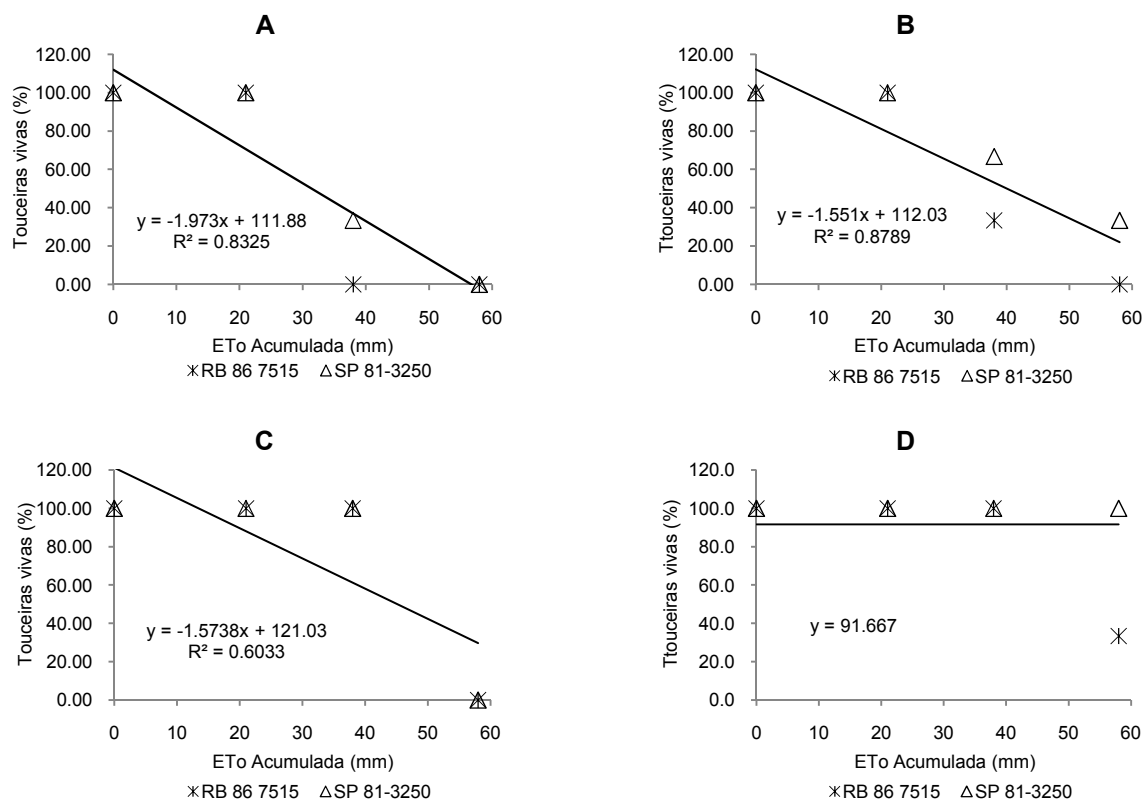


Figura 17 - Porcentagem de touceiras vivas para solo com profundidade de: (A) 10 cm, (B) 20 cm, (C) 30 cm e (D) 40 cm para ambas as variedades (V1: RB867515; V2: SP81-3250) em função da ETo acumulada

### 2.3.5 Estimativa da população final de plantas baseada no balanço hídrico climatológico

No intuito de demonstrar a ação dos níveis de déficit hídrico e profundidade de solo na população final de plantas por um parâmetro de fácil interpretação e utilização, foi calculado o balanço hídrico climatológico (BH) para cada combinação de tratamento

e correlacionado com as diferentes porcentagens de touceiras vivas. É necessário ressaltar que não só o resultado “bruto” do balanço hídrico deve ser considerado para futuros estudos de resistência à seca entre variedades em diferentes fases, mas também a velocidade de imposição do déficit hídrico, dentro dos limites aqui estudados de BH, visando identificar um mecanismo de rustificação da planta a este tipo de estresse.

O BH afetou a porcentagem de touceiras vivas significativamente a um nível de 1% de probabilidade. As variedades e a interação variedade com BH não afetaram significativamente a porcentagem de touceiras vivas. A RB867515 apresentou uma média de 74,48% de touceiras vivas, que não diferenciou pelo teste F a 5% de probabilidade da média 77,08%, obtida pela SP81-3250 (Tabela 16).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a porcentagem de touceiras vivas das variedades RB867515 (V1) e SP81-3250 (V2) em função do Balanço hídrico climatológico

FV	GL	Estatística F
Balanço hídrico	15	30,96**
Var	1	0,56 <sup>ns</sup>
Balanço hídrico x Var	15	0,13 <sup>ns</sup>
Bloco	2	1,81 <sup>ns</sup>
CV(%)		22,55
MG		75,78
Média V1		74,48
Média V2		77,08

\* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

Na Tabela 17 são apresentados os valores de porcentagens de touceiras vivas para os valores de BH dados pela combinação dos tratamentos de profundidade de solo (S) e nível de déficit hídrico (N). Fica claro, que para ambas as variedades e todas as combinações com BH nulo ou positivo, a população de plantas se manteve 100% viva, mesmo passando por períodos sem irrigação. Para valores de BH negativos até 13 mm, não houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey na porcentagem de touceiras vivas, em relação aos valores de BH nulos ou positivos.

Ainda com relação aos resultados apresentados na Tabela 17, as combinações S10 N2 e S40 N4 merecem uma discussão à parte, pois ambas resultam no mesmo BH



(-9,0mm), não se diferenciam significativamente, mantêm a máxima população final de plantas, porém por razões distintas. Estes são os tratamentos extremos de profundidade (S10: 10 cm e S40: 40 cm) combinados com o menor e maior tempo sem irrigação. No caso da combinação S40 N4 as plantas passaram um longo período sem irrigação (32 dias). Nos quatro últimos dias antes do máximo déficit (121 a 124 DAP), a ETo média foi de 2,2 mm dia<sup>-1</sup>, sendo que dois dos três dias de máxima ETo (2,3 mm dia<sup>-1</sup>) ocorreram também neste período, porém a CAD do solo até 40 cm (48,61 mm) foi suficiente para que a planta se aclimatasse à condição de baixa disponibilidade hídrica. Mesmo passando por este período final crítico as plantas não chegaram a morrer, pois foram quase 20 dias até que a EToAc se aproximasse do valor da CAD, com um balanço negativo por apenas 5 dias.

Tabela 17 - Quantidade média de touceiras vivas (%) para RB867515 (V1), SP81-3250 (V2) e média de acordo com o balanço hídrico climatológico (BH)

Tratamentos		BH	RB867515	SP81-3250	Média
Solo (S)	EToAc (N)	(mm)	Touceiras vivas (%)		
S10	N4	-46	<sup>(1)</sup> 0,0 Ac	0,0 Ab	0,0 b
S20	N4	-33	0,0 Ac	8,3 Ab	4,2 b
S10	N3	-26	8,3 Ac	16,7 Ab	12,5 b
S30	N4	-20	33,3 Abc	33,3 Ab	33,3 b
S20	N3	-13	91,7 Aa	91,7 Aa	91,7 a
S10	N2	-9	91,7 Aa	100 Aa	95,8 a
S40	N4	-9	66,7 Aab	83,3 Aa	75,0 a
S30	N3	0	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S20	N2	4	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S40	N2	11	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S10	N1	12	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S30	N2	17	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S20	N1	25	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S40	N3	28	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S30	N1	38	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a
S40	N1	49	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 a

<sup>(1)</sup>: Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Machado et al. (2009) discutem bem a importância da velocidade em que ocorre a redução da disponibilidade hídrica no solo, afirmando que em uma velocidade mais lenta pode ocorrer a aclimação das plantas à condição limitante. Para a IACSP 94-2094, os autores notaram evidências da aclimação fisiológica, ressaltando que não

ocorreu redução no potencial de água na folha, na eficiência aparente de carboxilação e eficiência intrínseca de uso da água, com a assimilação de CO<sub>2</sub> menos afetada na fase de crescimento inicial quando o déficit máximo ocorreu após 43 dias de suspensão da irrigação, se comparado às fases em que o déficit máximo ocorreu próximo aos 15 dias, ou seja, em apenas 1/3 do tempo citado anteriormente.

Para o outro caso (S10 N2), em 7 dias a EToAc já se igualou à CAD, pouco tempo para que a planta se aclimatasse à condição de restrição hídrica, e o BH se manteve negativo também por 5 dias. Porém, a ETo média do período foi mais baixa (1,6 mm dia<sup>-1</sup>), chegando no máximo a 1,8 mm dia<sup>-1</sup>, e a irrigação logo foi reiniciada, ou seja, a planta não se aclimatou. Entretanto, o tempo que ela passou sob restrição hídrica não foi suficiente para causar a morte das touceiras.

### 2.3.6 Equação de ajuste entre quantidade de touceiras vivas e balanço hídrico climatológico

Como os valores de porcentagem de touceiras vivas relacionados com o BH seguem uma distribuição sigmóide, foi determinada a equação de ajuste (eq. 5) para estimativa da porcentagem de touceiras vivas em função do balanço hídrico. A equação ajustada estima valores dentro do limite mínimo de 0% de plantas vivas até o máximo de 100%.

$$TV(\%) = a + \frac{b}{1 + e^{-\left(\frac{BH-c}{d}\right)}} \quad (5)$$

em que:

a: 1,129029596;

b: 98,23998897;

c: -18,021391;

d: 3,683549003;

TV: quantidade de touceiras vivas, em %; e

BH: balanço hídrico climatológico do período, em mm.

A equação se ajustou muito bem aos dados, resultando em um valor de  $r^2$  próximo a 0,97. O diagrama de dispersão e a representação gráfica da equação de ajuste para a porcentagem de touceiras vivas estão apresentados na Figura 18. Nota-se que para o intervalo de -30,0 a -10,0 mm de BH os valores de porcentagem 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.

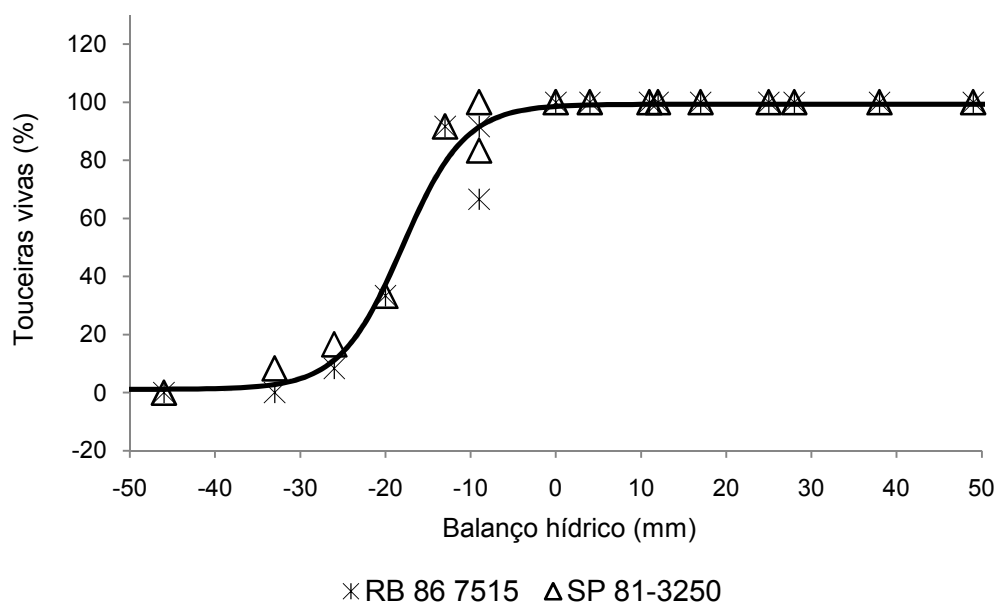


Figura 18 - Representação gráfica da equação de ajuste entre quantidade de touceiras vivas e balanço hídrico para ambas as variedades

### 2.3.6.1 Aplicações da equação

Segundo O'Leary (2000), existem dois principais modelos de simulação de cana-de-açúcar correntemente em uso pelo mundo, o modelo APSIM (Agricultural Production System sIMulator) - sugarcane, modelo desenvolvido pela unidade de pesquisa de sistemas de produção agrícola CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) e o CANEGRO (sugarCANE GROwth model) desenvolvido pela associação sul-africana do açúcar.

Smit e Singels (2006) afirmam que vários modelos são utilizados para a cultura da cana, porém as aplicações dos modelos dependem da capacidade de eles simularem com precisão o efeito da gestão de vários fatores ambientais e genéticos sobre o desenvolvimento da planta. Os autores afirmam que há uma necessidade de incorporar o efeito do estresse hídrico na planta para aperfeiçoamento do modelo APSIM e validar a simulação do modelo CANEGRO.

Assim, uma das aplicações práticas da estimativa da população final de plantas pode ser a incorporação desta lógica nos modelos fisiológicos de estimativa de produção dos programas CANEGRO ou APSIM, sendo um parâmetro a mais para correção das estimativas no caso de período de déficit hídrico, pois os modelos atuais não levam em consideração os efeitos do déficit hídrico na população de plantas; eles analisam o ambiente como se todas as plantas sobrevivessem a uma condição adversa e retomassem seu crescimento normal quando passada esta fase.

Rosolen (1994) relata que, em média, quando o sistema radicular da cana-de-açúcar fica concentrado nos primeiros 40 cm de solo, a cultura suporta um estresse hídrico de 8 dias; enquanto que, se a profundidade explorada passasse para 1,10 m o período seco poderia atingir até 22 dias. Assim, tentando aprimorar as estimativas para a fase inicial de desenvolvimento, utilizando-se dados de diferentes tipos de solos, com disponibilidade total de água variável, pôde-se aplicar a equação e estimar qual o período, em dias, que as touceiras resistiriam para as diferentes profundidades de solo, combinadas com diferentes demandas diárias, cujos resultados podem ser visualizados nas Tabelas 19, 20 e 21, exemplificando o uso da equação utilizando-se dados de solos de textura arenosa, média e argilosa (Tabela 18).

Tabela 18 - Caracterização dos solos de textura arenosa, média e argilosa

Textura do solo	% de argila	Porosidade (%)	Densidade	U <sub>cc</sub> (%)	<sup>(1)</sup> DTA (mm/cm)
Arenosa	0 – 15	32 – 42	1,55 – 1,80	10 – 20	0,6 – 1,0
Média	15 – 35	43 – 49	1,35 – 1,50	11 – 17	1,4 – 2,0
Argilosa	35 – 60	51 – 55	1,20 – 1,30	39 – 49	2,0 – 2,5

<sup>(1)</sup> Disponibilidade total de água.

Adaptado de Bernardo, Soares e Mantovani, 2008.

As tabelas são apresentadas com estimativas para quatro porcentagens de touceiras vivas, 90, 60, 30 e 0%, cinco demandas hídricas, 1, 2, 3, 4 e 5 mm dia<sup>-1</sup> e cinco profundidades exploradas. Neste caso as simulações consideram que os solos apresentam inicialmente a umidade na capacidade de campo e que não recebem nenhuma reposição hídrica durante o período de déficit. Para as profundidades de 60, 80 e 100 cm são extrapolações de resultados, pois estas profundidades não foram estudadas neste experimento.

Tabela 19 - Estimativa do número máximo de dias sem irrigação das plantas de cana-de-açúcar para diferentes níveis de sobrevida, em um solo de textura arenosa

<sup>(1)</sup> Prof (cm)	<sup>(2)</sup> 90%					60%				
	<sup>(3)</sup> ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )					ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
20	<sup>(4)</sup> 26	13	9	7	5	33	17	11	8	7
40	42	21	14	11	8	49	25	16	12	10
60	58	29	19	15	12	65	33	22	16	13
80	74	37	25	19	15	81	41	27	20	16
100	90	45	30	23	18	97	49	32	24	19
Prof (cm)	30%					0%				
	ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )					ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
20	37	19	12	9	7	68	34	23	17	14
40	53	27	18	13	11	84	42	28	21	17
60	69	35	23	17	14	100	50	33	25	20
80	85	43	28	21	17	116	58	39	29	23
100	101	51	34	25	20	132	66	44	33	26

<sup>(1)</sup> Profundidade efetiva do sistema radicular. <sup>(2)</sup> Porcentagem estimada de touceiras vivas. <sup>(3)</sup> Evapotranspiração de referência média do período. <sup>(4)</sup> Número de dias sem precipitação ou irrigação.

Tabela 20 - Estimativa do número máximo de dias sem irrigação das plantas de cana-de-açúcar para diferentes níveis de sobrevida, em um solo de textura média

<sup>(1)</sup> Prof (cm)	<sup>(2)</sup> 90%					60%				
	<sup>(3)</sup> ETo (mm dia <sup>-1</sup> )					ETo (mm dia <sup>-1</sup> )				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
20	<sup>(4)</sup> 44	22	15	11	9	51	26	17	13	10
40	78	39	26	20	16	85	43	28	21	17
60	112	56	37	28	22	119	60	40	30	24
80	146	73	49	37	29	153	77	51	38	31
100	180	90	60	45	36	187	94	62	47	37
Prof (cm)	30%					0%				
	ETo (mm dia <sup>-1</sup> )					ETo (mm dia <sup>-1</sup> )				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
20	55	28	18	14	11	87	44	29	22	17
40	89	45	30	22	18	121	61	40	30	24
60	123	62	41	31	25	155	78	52	39	31
80	157	79	52	39	31	189	95	63	47	38
100	191	96	64	48	38	223	112	74	56	45

<sup>(1)</sup> Profundidade efetiva do sistema radicular. <sup>(2)</sup> Porcentagem estimada de touceiras vivas. <sup>(3)</sup> Evapotranspiração de referência média do período. <sup>(4)</sup> Número de dias sem precipitação ou irrigação.

Tabela 21 - Estimativa do número máximo de dias sem irrigação das plantas de cana-de-açúcar para diferentes níveis de sobrevida, em um solo de textura argilosa

<sup>(1)</sup> Prof (cm)	<sup>(2)</sup> 90%					60%				
	<sup>(3)</sup> ETo (mm dia <sup>-1</sup> )					ETo (mm dia <sup>-1</sup> )				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
20	<sup>(4)</sup> 55	28	18	14	11	62	31	21	16	12
40	100	50	33	25	20	107	54	36	27	21
60	145	73	48	36	29	152	76	51	38	30
80	190	95	63	48	38	197	99	66	49	39
100	235	118	78	59	47	242	121	81	61	48
Prof (cm)	30%					0%				
	ETo (mm dia <sup>-1</sup> )					ETo (mm dia <sup>-1</sup> )				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
20	66	33	22	17	13	98	49	33	25	20
40	111	56	37	28	22	143	72	48	36	29
60	156	78	52	39	31	188	94	63	47	38
80	201	101	67	50	40	233	117	78	58	47
100	246	123	82	62	49	278	139	93	70	56

<sup>(1)</sup> Profundidade efetiva do sistema radicular. <sup>(2)</sup> Porcentagem estimada de touceiras vivas. <sup>(3)</sup> Evapotranspiração de referência média do período. <sup>(4)</sup> Número de dias sem precipitação ou irrigação.



### 3 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o presente estudo foi desenvolvido na cultura de cana-de-açúcar e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A “resistência” à seca das variedades SP81-3250 e RB867515 pode ser prevista com boa precisão, com base na disponibilidade hídrica de água no solo (zona radicular efetiva) e na evapotranspiração potencial de referência acumulada durante a imposição de um período de estresse hídrico contínuo;
- Uma vez que o nível de água disponível do solo seja esgotado, a tolerância à seca das variedades estudadas é relativamente baixa. Balanços hídricos com valores menores que -13 mm causaram queda significativa na população final de plantas, independentemente da variedade, sendo que, a partir de um valor acumulado de – 35 mm, nenhuma planta sobreviveu;
- Mecanismos efetivos de resistência à seca pela cultura da cana-de-açúcar deverão estar mais correlacionados com a capacidade das plantas de evitar a perda de água excessiva para a atmosfera (regulação estomatal, resistência ao fluxo no xilema, contração radicular etc.) ou de exploração mais efetiva da água disponível no solo (aprofundamento radicular), de modo a “evitarem” a seca e não necessariamente “resistirem” a ela;
- As variedades RB867515 e SP81-3250 quando cultivadas em solos muito rasos (10 cm de profundidade) apresentam redução significativa no seu desenvolvimento, mesmo sob ausência de déficit hídrico no solo;
- Para condições de boa disponibilidade hídrica no solo, a variedade SP81-3250 apresentou maior perfilhamento, independentemente da profundidade de solo, quando comparada à variedade RB867515;
- Para condições de boa disponibilidade hídrica no solo, a variedade RB867515 apresenta melhor desenvolvimento do colmo primário, independentemente da profundidade de solo, quando comparada à variedade SP81-3250;



- A extensão máxima do colmo primário é o parâmetro de desenvolvimento mais sensível ao déficit hídrico;
- A variedade SP81-3250 cultivada em solo com profundidade máxima de 20 cm responde mais sensivelmente ao déficit hídrico, pois reduz significativamente o desenvolvimento dos perfilhos; e
- Para profundidades de solo maiores que 30 cm, a resposta das variedades RB867515 e SP81-3250 ao déficit hídrico não difere significativamente.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2010. **Anuário estatístico da agricultura**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2010. p. 239-242.
- AGUIAR, S.F. de. **Observações sobre sistema radicular de cana planta (*Saccharum spp.*)**. Jaboticabal: UNESP;FCAV, 1978. 24 p.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**; cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 42-55.
- 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 FAO; Rome, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.)
- ALONSO, O. Raio x dos canaviais: Censo revela variedades mais cultivadas. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ed. 39. Ano IV. p. 20-21, set. 2009.
- ARTLIP, T.S.; WISNIEWSKI, M.E. Induction of proteins in response to biotic stresses. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 657-680.
- BEAUCLAIR, E.G.F. de; SCARPARI, M.S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. p. 65-73.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.
- BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v.2, p. 48-54, 1997.
- BUSO, P.H.M. **Estudo do sistema radicial de cana-de-açúcar no plantio em gema e tolete**. 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia em Produção Vegetal Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.
- CAMARGO, P.N. **Fisiologia de la caña de azúcar**. México: Comisión Nacional de la Industria Azucarera, 1976. 59 p. (Serie Divulgación Técnica IMPA Folleto, 6).

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. cap. 2, p. 95-104.

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

CHAVES, S.W.P. **Efeito da alta frequência de irrigação e do “mulching” plástico na produção da pimenta ‘Tabasco’ fertirrigada por gotejamento**. 2008. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CONCEIÇÃO, M.A.F. ; MARIN, F.R. Efeito de variáveis meteorológicas sobre a evapotranspiração de referência em uma região de clima tropical úmido do Brasil. In: REUNIÓN ARGENTINA Y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA; REUNIÓN ARGENTINA Y IV LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA, 10., 2004. Mar del Plata, 10., **Anais...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 27 p.

COPERSUCAR - Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo Ltda. **Boletim Técnico Copersucar: Edição Especial**. São Paulo, 1995. 24 p.

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

COSTA, C.T.S. **Crescimento, pigmentos fotossintéticos e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), no quarto ciclo de cultivo**. 2009. 51 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2009.

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

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

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

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

FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**: técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

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

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

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, Sept/Oct. 1980.

GONÇALVES, E.R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**. Australia, v. 89. p. 107-122, 2004.

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

LACLAU, P.R.F.B. **Balanço hídrico e crescimento de raízes da cana-de-açúcar sob disponibilidade de água contrastante e comparados ao modelo MOSICAS**. 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RiMa, 2004. 531 p.

LISSON, S.N. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Cambridge, v. 92, p. 321-336, 2005.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de culturas extrativas**: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. de A. **Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.44, n.12, p. 1575-1582, dez. 2009.

MANTOVANI, E.C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa: DEA/UFV–PNPeD/café Embrapa, 2002. 63 p.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

O'LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Cambridge , v.68, p.97-111, 2000.

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

RAIJ, B.; 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 Agrônômico. 1997. p. 237-239. (Boletim Técnico, 100).

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136 p.

RODRIGUES, J. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. 1995. Disponível em: <[http://www.canabrasil.com.br/component/option,com\\_docman/task,doc\\_view/gid,92/](http://www.canabrasil.com.br/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,92/)>. Acesso em: 14 jun 2010.

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

ROSOLEM, C.A. Interpretação de análise de solo e desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS DE MANEJO DO SOLO E ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 1994. Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOPRAL SUCRESP/ALCOPLAN. 1994. p. 53-73.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 287-294. 1998.

SANTOS, V.R. dos; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A.W. de; COSTA, J.P.V. da; SANTOS, C.G. dos; SANTOS, A.C.I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SILVA, M.A.; SOARES, R.A.B.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v.67, p.656-661, 2008.

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

TAPPARO, S.A. **Irrigação de precisão em diferentes variedades de gramíneas sob condição simulada de pastejo rotacionado em pivô central**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.

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

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38, 55-94, 1948.

UNICA - União da indústria de cana-de-açúcar. **Dimensão da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo**. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/FAQ/>>. Acesso em: 17 nov 2010.

VASCONCELOS, A.C.M. de. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas**, São Paulo, n. 97, 2002. 16 p. (POTAFOS. Encarte Técnico).



## **ANEXOS**



**ANEXO A - Imagens da estrutura e da instalação do experimento**



**Brita**



**Bidin**



**Solo**



**Vista geral**



**Gotejador**



**Filtros**



**Cabeçal de controle**



**Motobomba**



**Teste de uniformidade**



**Detalhe do teste**



**Coleta de amostra**



**Amostras preparadas**



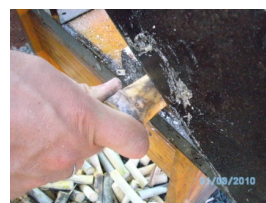
**Bandejas**



**Substrato**



**Corte dos toletes**



**Detalhe do corte**



**Plantio**



**Emergência**



**Muda pronta**



**Transplântio**



**Detalhe do S10**



**Detalhe do S20**



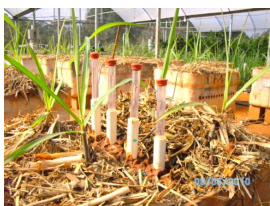
**Detalhe do S30**



**Detalhe do S40**



## ANEXO B - Imagens da condução e da finalização do experimento



**Tensiômetros**



**Tensímetro**



**Coleta de amostra**



**Amostras secas**



**46 DAP**



**54 DAP**



**60 DAP**



**75 DAP**



**89 DAP**



**96 DAP**



**98 DAP**



**100 DAP**



**102 DAP**



**104 DAP**



**110 DAP**



**113 DAP**



**122 DAP**



**124 DAP**



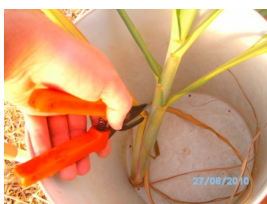
**132 DAP**



**135 DAP**



**Corte do perfilho**



**Corte das folhas**



**Separação do material**



**Pesagem do material**