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

**Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)
submetidas a déficit hídrico**

Ana Carolina Ribeiro Guimarães

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

**Piracicaba
2011**

Ana Carolina Ribeiro Guimarães
Engenheiro Agrônomo

**Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) submetidas a
déficit hídrico**

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI**

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

Piracicaba
2011

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

Guimarães, Ana Carolina Ribeiro

Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) submetidas a déficit hídrico / Ana Carolina Ribeiro Guimarães. - - Piracicaba, 2011.
66 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Balanço hídrico 2. Cana-de-açúcar 3. Cloroplastos vegetais 4. Fluorescência
I. Título

CDD 633.61
G963c

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

Ao meu filho Arthur,
Aos meus pais, Urbano e Neiva,
As minhas irmãs, Luciana, Christiane e Vanessa.

DEDICO

Ao meu filho Arthur,
Fonte de motivação
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao CTC - Centro de Tecnologia Canavieira e à ESALQ - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por ter me possibilitado a realização deste curso.

Ao Professor Marcos Vinícius Folegatti, pela orientação, confiança e apoio durante toda a etapa de realização deste trabalho.

A Dra. Sabrina Moutinho Chabregas e Dr. William Lee Burnquist pelo auxílio e valiosas contribuições para o trabalho.

Aos colegas do Programa de Biotecnologia do CTC pelo companheirismo e apoio constante neste trabalho, especialmente Antônio Próspero Jr, Aparecido Alves de Oliveira e Beatrice Silva.

Aos colegas do Programa de Variedades do CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, pelas valiosas sugestões.

Aos amigos Carlos Roberto Rubio, Maria Cristina Falco e Michel Choairy de Moraes pela paciência e alegrias compartilhadas a cada dia de trabalho.

À minha família pela paciência, companheirismo e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Estresse hídrico nas plantas	19
2.2 Estresse hídrico <i>versus</i> melhoramento de plantas	19
2.3 Estresse hídrico em cana-de-açúcar	20
2.4 Conteúdo de Clorofila.....	24
2.5 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	24
2.6 Teor Relativo de Água.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Local de realização do projeto.....	29
3.2 Material Vegetal.....	29
3.3 Tratamentos, delineamento experimental e análise estatística	34
3.4 Avaliações	35
3.4.1 Condições ambientais no interior da casa-de-vegetação.....	35
3.4.2 Conteúdo relativo de clorofila (CC)	35
3.4.3 Eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm).....	36
3.4.4 Teor relativo de água (TRA).....	36
3.4.5 Incremento em altura dos colmos (IAC)	37
3.4.6 Características tecnológicas da matéria prima (CTMP)	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Condições ambientais no interior da casa-de-vegetação	40
4.2 Conteúdo Relativo de Clorofila (CC)	41
4.3 Eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm).....	44
4.4 Teor Relativo de Água (TRA)	48
4.5 Incremento em altura de colmos (IAC)	50

4.6	Características tecnológicas da matéria prima (CTMP)	52
5	CONCLUSÕES	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	61

RESUMO

Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) submetidas a déficit hídrico

O déficit hídrico é o principal fator limitante na produtividade das culturas agrícolas. Com a crescente expansão da cultura canavieira rumo a regiões de marcantes déficits hídricos, torna-se essencial o desenvolvimento de variedades tolerantes a este tipo de estresse. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do déficit hídrico, em 20 variedades de cana-de-açúcar, visando identificar características para auxiliar o programa de melhoramento da cultura. O conteúdo relativo de clorofila, a eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), o teor relativo de água (TRA), o incremento em altura dos colmos (IAC) foram utilizados como parâmetros fisiológicos além das características tecnológicas da matéria prima Brix e Pol. O déficit hídrico foi imposto pela suspensão da irrigação durante 3, 10 e 20 dias. O déficit hídrico reduziu o conteúdo relativo de clorofila, TRA, Fv/Fm, IAC e Pol para a maioria das variedades analisadas enquanto o teor de sólidos solúveis, mensurada através do Brix, não foi afetado. O período de suspensão de rega de 03 dias não foi suficiente para induzir déficit hídrico e, as melhores respostas para identificação de diferenças fisiológicas dentro de variedades foi obtida aos 20 dias. Não foi observado padrão de resposta que possa ser relacionado com o nível de tolerância das variedades para o resultado dos parâmetros IAC, TRA, Brix e Pol. Contudo constatou-se que os parâmetros Fv/Fm e conteúdo relativo de clorofila mostraram-se eficientes para diferenciar variedades de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis à deficiência hídrica.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*; Déficit hídrico; Fluorescência; Conteúdo de clorofila

ABSTRACT

Evaluation of sugarcane genotypes (*Saccharum* spp.) under water stress

Drought is a major limitation to crop productivity worldwide. The sugarcane is a crop in expansion towards areas of marked water deficit and it is essential the development of drought tolerant varieties. The aim of this work was to study the effects of drought in 20 sugarcane genotypes to identify parameters to improve the genotype screening in the breeding program. The relative chlorophyll content, potential quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), the relative water content (TRA), the increase in height of stalks (IAC) were evaluated as physiological parameters in addition to the technological parameters Brix and Pol. The water deficit was imposed by withholding irrigation for 3, 10 and 20 days. The water deficit reduced the relative chlorophyll content, TRA, Fv/Fm, Pol and IAC for most varieties evaluated while the soluble solids content, measured by ° Brix, was unaffected. The withhold treatment of 03 days was not sufficient to induce water deficit and the best results to identify physiological differences within genotypes were obtained with 20 days. The IAC, TRA, Brix and Pol results were not related to the level of tolerance of genotypes. However, Fv/Fm and relative chlorophyll content traits were effective to distinguish between drought tolerant and susceptible sugarcane genotypes subjected to water stress.

Keywords: *Saccharum* spp.; Water stress; Fluorescence; Chlorophyll content

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa de vegetação - CTC.....	29
Figura 2 - Disposição do experimento na casa-de-vegetação.	34
Figura 3 - Clorofilômetro SPAD e detalhe da medição do conteúdo relativo de clorofila.	35
Figura 4 - Fluorômetro portátil e detalhe da medição de F_v/F_m	36
Figura 5 - Temperatura no interior da casa-de-vegetação durante o período dos tratamentos.....	40
Figura 6 - Umidade Relativa (%) no interior da casa-de-vegetação durante o período dos tratamentos.	40
Figura 7 - Desdobramento da interação do tratamento de déficit hídrico dentro de cada variedade para o conteúdo relativo de clorofila (CC).....	43
Figura 8 - Desdobramento da interação do tratamento de déficit hídrico dentro de cada variedade para eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m).....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média dos parâmetros avaliados sob efeito do déficit hídrico, independente da variedade.....	39
Tabela 2 - Análise de variância do conteúdo relativo de clorofila (CC), em cana-de-açúcar sob efeito de variedades e déficit hídrico.....	41
Tabela 3 - Conteúdo relativo de clorofila (CC), expresso em unidades SPAD, entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico.	42
Tabela 4 - Análise de variância da eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) em cana-de-açúcar sob efeito de variedades e déficit hídrico.....	44
Tabela 5 - Eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico.	46
Tabela 6 - Análise de variância do teor relativo de água (TRA) sob efeito de variedades e déficit hídrico.....	48
Tabela 7 - Teor relativo de água entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico.	49
Tabela 8 - Análise de variância do incremento em altura dos colmos (IAC) sob efeito de variedades e déficit hídrico.....	50
Tabela 9 - Incremento em altura dos colmos (IAC), expresso em cm, entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico.	51
Tabela 10 - Análise de variância das características tecnológicas da matéria prima sob efeito de variedades e déficit hídrico.	52
Tabela 11 - Brix entre as 20 variedades de cana-de-açúcar analisadas.....	53
Tabela 12 - Pol (%cana) entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico.....	54

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, sendo a principal fonte de matéria prima para a produção de açúcar e etanol. O Brasil encontra-se na posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar e exportador de açúcar. Na safra 2010/2011, a produção de açúcar atingiu 38,6 milhões de toneladas e 27 bilhões de litros de etanol (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

Com essa crescente demanda atual por recursos energéticos substitutos ao petróleo, a cultura canavieira está em plena expansão no Brasil rumo a regiões de marcantes déficits hídricos em algumas épocas do ano como Goiás, Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul e Oeste do Estado de São Paulo. Na safra 2010/11, a área de cana-de-açúcar colhida foi estimada em 8.033,6 mil hectares com aumento de 8,40% em relação à safra anterior. O levantamento da CONAB de 2011 mostrou que somente na região Centro Oeste esse aumento foi de 27,90%.

Na cultura da cana-de-açúcar, o déficit hídrico é um dos estresses ambientais responsáveis por maiores danos à produção. Portanto, o desenvolvimento de genótipos tolerantes à seca está estritamente relacionado à sustentabilidade e à viabilidade econômica da cultura canavieira nas áreas sujeitas ao déficit hídrico. Genótipos capazes de sustentar os níveis de produtividade em condições restritivas também contribuirão para a redução do impacto ambiental uma vez que levarão a uma redução do uso de irrigação. Estima-se que para cada hectare de cultura é utilizado, em média, 60 mm de irrigação, o que provoca a competição pelo uso da água para consumo humano (BERNDES, 2002). Além disso, aumentos de produção obtidos à custa do aumento no consumo de água para a irrigação são ambientalmente insustentáveis.

De acordo com previsões ambientais, que sinalizam para o aumento do aquecimento global nas próximas décadas, um aumento dos períodos de seca certamente acompanhará esse fenômeno. Portanto, entender a tolerância das plantas à seca e como explorá-la, devem ser julgados não só como problemas de ordem agrônômica, fisiológica ou ecológica, mas também como importante meta internacional de significância humanitária, econômica e política (VAN RENSBURG et al., 1994)

Neste contexto, em regiões onde ocorre estresse hídrico, um fator importante na produtividade da cultura é o uso de variedades adaptadas às diferentes condições edáficas e climáticas, que sejam capazes de explorar com maior eficiência os nutrientes e a umidade disponíveis em cada situação. Além disso, a variedade é um dos componentes de produção mais fáceis de ser substituído e aceito pelos produtores, por não implicar em maiores acréscimos nos custos de produção (SHIGAKI et al., 2003).

Haverá uma pressão crescente para produzir cana-de-açúcar com menores níveis de irrigação no futuro. Isto levará a um aumento dos níveis de estresse hídrico imposto à cultura. As pesquisas têm se concentrado em caracteres agrônômicos e fisiológicos que podem conduzir à adaptação a essas condições ou ser correlacionados com tolerância a seca e usados em programas de melhoramento (DOMAINGUE, 1996).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, de forma comparativa, parâmetros agrônômicos e fisiológicos em 20 variedades de cana-de-açúcar quando submetidas a déficit hídrico, visando identificar características para auxiliar o programa de melhoramento genético tradicional e molecular da cultura no processo de seleção de novas variedades.

Este trabalho faz parte de um projeto mais abrangente, no qual também foram avaliadas as alterações provocadas pela redução na disponibilidade de água nos níveis bioquímico e molecular.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estresse hídrico nas plantas

Durante períodos de déficit hídrico, muitas mudanças ocorrem na planta. Essas mudanças dependem da severidade e da duração do estresse, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e da natureza do estresse (KRAMER; BOYER, 1995). O déficit hídrico afeta a bioquímica, a fisiologia, a morfologia e os processos de desenvolvimento das plantas, reduzindo a fotossíntese de três maneiras: pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar, pela redução da difusão do CO₂ para dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO₂ que neles penetra (JONES, 1985).

O estresse hídrico causa, em curto prazo, reduções na condutância estomática e no crescimento das folhas e, em longo prazo, reduções no crescimento do caule das plantas (GOLLAN et al., 1986). Reduções na taxa de fotossíntese líquida das plantas sujeitas ao estresse hídrico resultam de um abaixamento da capacidade fotossintética do fotossistema II (BUNCE, 1988) ou do fechamento dos estômatos (KRAMER; BOYER, 1995; SHARKEY, 1990; CRUZ DE CARVALHO, 2008).

2.2 Estresse hídrico *versus* melhoramento de plantas

Do ponto de vista prático é muito difícil a imposição de estresse de seca, de forma controlada e reproduzível, às grandes populações de plantas normalmente usadas em programas de melhoramento.

Monitoramentos abrangentes do crescimento e de parâmetros fisiológicos raramente têm sido usados para selecionar plantas mais produtivas em ambientes com déficit hídrico (BASNAYAKE et al., 1995). Melhoristas de plantas têm tentado selecionar plantas com tolerância à seca a partir de grandes populações, entretanto, altos rendimentos e resistência a doenças têm sido os alvos finais das análises.

Esse enfoque experimental na seleção de plantas para tolerância ao estresse hídrico tem sido o método escolhido na quase totalidade dos casos (SIMPSON, 1981).

A maioria dos enfoques, meramente identifica plantas com altos ou baixos rendimentos, porque o critério final de seleção é um simples índice, tal como rendimento de grãos ou produção de biomassa na época da colheita.

Tais enfoques geralmente têm falhado em revelar as características genéticas individuais que afetam a tolerância à seca e que poderiam ser seletivamente orientadas para recombinação adicional.

Características genômicas de uma planta que apresenta, por exemplo, tolerância ao estresse de seca na antese, ou escape ao estresse de seca no enchimento dos grãos, combinado com tolerância a períodos curtos de estresse de pequena magnitude, podem ser perdidas (SIMPSON, 1981).

Um enfoque reducionista terá sucesso limitado porque o balanço ótimo da conservação de água e a absorção de carbono são alcançados, não pela variação de uma única resposta, mas pela combinação de diversas respostas diferentes a um nível que equivale à severidade e à duração do déficit hídrico (MCCREE; FERNANDEZ, 1989).

A maior limitação para o melhoramento genético da tolerância ao déficit hídrico em plantas é o conhecimento insuficiente sobre as bases fisiológicas, moleculares e genéticas das respostas das plantas ao déficit. Essas considerações reforçam a necessidade de um enfoque sistemático nos estudos de estresse hídrico, com maior ênfase nas diferenças genéticas entre os genótipos (VAN RENSBURG et al., 1994).

2.3 Estresse hídrico em cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar possui variabilidade genética em relação à suscetibilidade ao estresse hídrico, sendo alguns genótipos capazes de tolerar estresses severos e mesmo assim, completar o seu ciclo, enquanto outros não sobrevivem ou sofrem danos severos na sua produção. Esta variabilidade é uma ferramenta muito importante para o desenvolvimento de genótipos tolerantes. Sob condição de estresse, o desempenho de genótipos-elite em relação aos genótipos tradicionais é melhor, e esta diferença é devida principalmente a uma maior tolerância aos estresses e não ao aumento da produtividade *per se* (DUVICK et al., 2004).

A literatura evidencia expressiva variação genotípica na resposta da cultura ao estresse hídrico (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Fechamento estomático, abscisão foliar e ajuste osmótico precoce são possíveis mecanismos de tolerância à seca. Esta informação é inexistente para a maioria das variedades, e existe a necessidade de se obter uma melhor compreensão da resposta da cultura ao estresse hídrico (SMIT; SINGELS, 2006).

Vários parâmetros de crescimento podem ser utilizados para a cultura da cana-de-açúcar na tentativa de explicar e compreender as diferenças de comportamento entre variedades. Os períodos de déficit hídrico podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana-de-açúcar varia muito em função da interação entre a época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura (SHAW; INNES, 1965; THOMPSON, 1976).

Autores como Doorembos e Pruitt (1975), citam como épocas mais críticas apenas os períodos de perfilhamento e início de alongação dos colmos. Van Dillewijn (1952) observou serem conhecidos os efeitos benéficos proporcionados por um adequado suprimento de água no início do crescimento e perfilhamento da cana.

Ao estudar o período crítico de déficit hídrico para cana planta, Rosenfeld (1984) concluiu que o início do estágio de máximo desenvolvimento da cana planta é o período mais sensível ao déficit hídrico. Para cana-de-açúcar plantada em fevereiro a 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 10º 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 de cana-planta.

O baixo teor de umidade nos tecidos pode reduzir pela metade o comprimento de alguns entrenós, mas se houver disponibilidade de água novamente, a perda pode ser recompensada pelo maior comprimento dos entrenós seguintes (CASTRO; KLUGE, 2001).

Silva et al. (2007) avaliou a adequação de quatro parâmetros fisiológicos (fluorescência da clorofila a, Fv/Fm, estimativa do conteúdo de clorofila na folha via o índice SPAD; temperatura da folha, TF; e conteúdo relativo de água na folha, CRA) para distinguir entre genótipos de cana de açúcar tolerantes e sensíveis submetidos a

um ciclo de 90 dias de déficit hídrico. Foram avaliados oito genótipos, cultivados sob condições de campo. Aos 45 dias após o estabelecimento dos tratamentos, Fv/Fm, índice SPAD e CRA das plantas sob estresse declinaram significativamente em todos os genótipos, comparados aos respectivos controles sob condições ideais de irrigação. Entretanto, as reduções foram mais severas nas folhas dos genótipos sensíveis à seca. Em geral, a TF das plantas sob estresse foi maior ($\sim 4^{\circ}\text{C}$) que TF das plantas sob condições ideais de água, mas o aumento relativo foi maior nos genótipos sensíveis. Sob estresse hídrico, o grupo dos genótipos tolerantes manteve maiores valores de Fv/Fm (8%), índice SPAD (15%), CRA (16%) e valores menores de TF ($2,2^{\circ}\text{C}$) do que os sensíveis. Os resultados obtidos foram consistentes com a classificação desses genótipos como tolerantes/sensíveis e indicam que essa ferramenta pode ser confiável na seleção para tolerância à seca.

Pincelli (2010) verificou a habilidade de algumas variáveis morfológicas para distinguir entre tolerantes e sensíveis quatro cultivares comerciais de cana-de-açúcar sendo essas RB72454, RB855453, SP81-3250 e sp83-2847, sob dois regimes hídricos. Não foi verificado padrão de resposta que possa ser relacionado com o nível de tolerância para o resultado das variáveis comprimento e largura da folha +3, massa foliar específica, condutância estomática, conteúdo relativo de água na folha e conteúdo de clorofilas a e b. Entretanto, constatou-se que as variáveis altura do colmo, número de folhas verdes, área foliar, densidade estomática adaxial e abaxial, máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/FM), estimativa do conteúdo de clorofila (índice SPAD) e potencial hídrico foliar foram eficientes em avaliar essa tolerância, principalmente no regime de maior déficit hídrico.

Gonçalves (2008) avaliou, em casa de vegetação, as respostas de quatro variedades de cana-de-açúcar (SP79-1011, RB72454, RB98710 e RB92579) submetidas à deficiência hídrica durante a fase inicial de crescimento vegetativo. O estresse hídrico provocou pouca redução na fluorescência da clorofila a (Fv/Fm) e reduziu os teores de clorofilas e crescimento em todas as variedades. Foi observada a redução da condutância estomática em algumas variedades sem alteração da taxa de fotossíntese líquida. Além disso, o estresse hídrico elevou os níveis de prolina livre em diferentes níveis entre as variedades.

Para investigar o processo envolvido na susceptibilidade de plantas de cana-de-açúcar ao déficit hídrico, Graça et al. (2010) avaliou diferentes parâmetros fisiológicos em cultivares tolerantes (SP83-2847 e CTC15) e sensíveis (SP86-155). O déficit hídrico afetou o aparato fotossintético de todas as plantas de forma diferenciada dentro e entre as cultivares. A taxa fotossintética e condutância estomática diminuíram significativamente para todas as cultivares submetidas ao déficit hídrico. Nas plantas controle das cultivares tolerantes (SP83-2847 e CTC 15) a taxa fotossintética foi maior do que a cultivar sensível (SP86-155). O teor relativo de água mostrou que a cultivar CTC 15 apresentou o maior teor relativo de água durante o período de déficit hídrico. A eficiência fotossintética da cultivar SP83-2847 foi mais estável nos últimos dias do tratamento experimental, sugerindo que o decréscimo do teor relativo de água estimulou o ajustamento da capacidade fotossintética para tolerar as mudanças da disponibilidade hídrica. De modo geral, as cultivares tolerantes SP83-2847 e CTC 15, apresentam melhor desempenho fotossintético do que a cultivar sensível SP86-155.

Estudando os efeitos da irrigação sobre a qualidade da cana 'CP 65-357, submetida a três níveis de irrigação (99, 85 e 65% da fração de esgotamento da água do solo), no Estado do Texas, Wiedenfeld (1995) obteve rendimentos em açúcar de 13, 10 e 7,5 ton/ha, respectivamente. Posteriormente, Wiedenfeld (2000) avaliou diferentes tratamentos de estresse hídrico na cultura, em cinco diferentes estádios de desenvolvimento, registrando reduções de 11% no rendimento em açúcar, quando a cultura foi submetida ao estresse no período entre 257 e 272 dias após o plantio e de 19% quando o estresse hídrico ocorreu entre 302 e 347 dias após o plantio. Moura et al. (2005) observaram diferenças nos parâmetros de produtividade Brix e Pol em estudos, comparando a cana irrigada com a cana de sequeiro, aumentando 5,00, 10,79 e 8,63%, respectivamente, quando houve irrigação.

Dentre as alterações apresentadas pela cana-de-açúcar sujeitas a deficiência hídrica, e que serão tratadas neste trabalho, podem-se destacar: alterações na altura, no teor relativo de água, no conteúdo de clorofila e na eficiência quântica do fotossistema II. Algumas dessas respostas fazem parte de estratégias da planta que visam reduzir os efeitos deletérios da baixa disponibilidade hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (PINCELLI, 2010).

2.4 Conteúdo de Clorofila

A deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis pela diminuição de pigmentos nas folhas, fazendo com que o ciclo de vida da planta seja alterado. Portanto, a análise do teor de clorofila é importante para avaliar a saúde ou a integridade do aparato fotossintético durante o processo de fotossíntese na folha e fornece uma técnica precisa e rápida em detectar e quantificar plantas tolerantes ao estresse hídrico (RONG-HUA et al., 2006; PERCIVAL; SHERIFFS, 2002).

Assim, métodos de quantificação e de estimativa da clorofila podem ser utilizados como ferramentas para seleção de genótipos tolerantes à seca. Métodos destrutivos são citados na literatura como sendo relativamente eficientes.

Tem sido demonstrada a existência de relação entre índice de intensidade da cor verde e teor de clorofila em várias espécies de plantas. O clorofilômetro (Minolta Chlorophyll meter SPAD-502) é um aparelho portátil que mede de modo não destrutivo e instantâneo a transmitância de luz através da folha, no comprimento de onda com pico em 650 nm, região de alta absorbância pelas moléculas de clorofila, e com pico em 940 nm, na qual a absorbância pela folha é baixa, servindo como um fator de correção para o teor de água ou espessura da folha (MINOLTA, 1989).

As medidas são processadas e, no visor do clorofilômetro, é mostrado um valor denominado pela empresa fabricante do aparelho como índice SPAD (Soil Plant Analysis Development). Dessa forma, medições com o SPAD-502 podem ser significativamente correlacionadas com a quantidade de clorofila existente na folha, sendo denominadas como medida indireta do conteúdo de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997).

2.5 Fluorescência da clorofila a

A captura e o armazenamento de energia luminosa pelas folhas de plantas superiores são mediados por uma associação entre complexos de pigmentos captadores de luz e um transporte sequencial de elétrons do fotossistema II (PSII) para o fotossistema I (PSI).

A eficiência da utilização da luz por cada fotossistema regula as reações de fixação de CO_2 e geração de ATP pelas reações luminosas. A energia luminosa absorvida no PSII excita as moléculas de clorofilas ali presentes, que passam para um estado instável e rapidamente liberam parte de sua energia ao meio como calor, sem a emissão de fóton.

Entretanto, a clorofila excitada pode também perder energia por fluorescência, reemitindo fótons e, assim, retornando ao estado basal. Outra parte da energia pode ser utilizada pelas reações fotoquímicas ou ainda ser transferida fracamente para o PSI, pelo contato entre moléculas de clorofilas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A emissão de fluorescência fornece informações sobre os processos fotoquímicos do PSII. Submetidos à condição de baixa luz, ao redor de 95% dos fótons absorvidos são usados na fotoquímica, 4,5% são transformados em calor e 0,5% são reemitidos como luz fluorescente. Se todos os centros de reação do PSII estiverem fechados por um bloqueio da fotossíntese, 95-97% da energia pode ser dissipada como calor e 2,5-5,0% via fluorescência (BOLHÀR-NORDENKAMPF; OQUIST, 1993).

A relação inversa entre a fluorescência e a atividade fotossintética foi primeiramente observada e descrita por Kautsky e pode ser usada para estudar a atividade fotossintética potencial das folhas e para detectar os efeitos de estresses em plantas. Um sinal típico de indução da fluorescência em luz contínua é conhecido como "Efeito Kautsky", onde após um pico ou um máximo de fluorescência, acontece uma atenuação (o denominado "quenching"). Normalmente a extensão do "quenching" é expressa por coeficientes que variam de 0 a 1, indicando a proporção atenuada da fluorescência máxima (KRAUSE; WEIS, 1991).

A fluorescência basal ou mínima (F_o) é a fluorescência medida quando todos os centros de reação estão abertos. A fluorescência máxima (F_m) é a fluorescência quando todos os centros de reação estão fechados. A fluorescência variável (F_v) é determinada pelo estado do centro de reação (aberto ou fechado), e é definida como a diferença entre F_m e F_o , ou seja, $F_v = F_m - F_o$. O estado dos centros de reação é influenciado por fatores ambientais de origem biótica e abiótica.

A medida da fluorescência da clorofila é uma técnica simples, rápida e não invasiva, para avaliação quantitativa *in vivo* da fotossíntese. Tem o potencial de estimar

a eficiência quântica da fotossíntese, tanto no laboratório como no campo, além de permitir a obtenção de dados a respeito de reações químicas parciais e do fracionamento da energia de excitação (VAN KOOTEN; SNEL, 1990).

A capacidade fotossintética, entretanto, diminui em proporção ao tamanho e severidade do dano sofrido pela planta. Dependendo do tipo de dano, pode haver recuperação da capacidade fotossintética em poucas horas ou dias ou mesmo a morte do tecido.

Em plantas sob condições de estresse, a menor eficiência fotossintética pode ser causada pela: 1) menor dissipação de energia através do transporte de elétrons, ocasionando um declínio na eficiência quântica potencial do PSII, indicada pelo menor F_v/F_m , e taxa de transporte de elétrons (ETR), sendo usualmente associados ao aumento na extinção não-fotoquímica da fluorescência (q_N) e no "pool" de zeaxantina 2) início dos processos de fotoinibição quando a capacidade de fotoproteção é excedida, sendo indicado pelo declínio na relação F_v/F_m , acompanhado pelo aumento de F_o , devido à redução excessiva da cadeia de transporte de elétrons (CHAGAS, 2007).

Em situações como descrito acima, a taxa de geração de oxigênio tóxico excedem a capacidade dos mecanismos de desintoxicação do PSI. Parte dos elétrons envolvidos nos processos fotoquímicos é utilizada em outros processos que não a fixação de carbono. Em condições onde a fixação de carbono é limitada (ex.: baixa temperatura e fechamento estomático), drenos alternativos de elétrons, como a fotorrespiração, excetuando-se plantas com metabolismo C4, e a redução de oxigênio molecular (durante a reação de Mehler) podem aumentar suas atividades (ASADA, 1999).

Segundo Krause e Weis (1991), a presença de condições ambientais estressantes levam ao decréscimo característico na eficiência quântica potencial do PSII, podendo ser detectada pela queda na relação F_v/F_m , conforme já mencionado.

Paralela à queda da fotossíntese devido à menor eficiência fotoquímica, pode ocorrer redução na atividade de algumas enzimas do ciclo de Calvin e mudanças nas rotas bioquímicas, como acúmulo de aminoácidos e ácidos orgânicos (WRIGHT et al., 1995). Contudo, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidativo composto de

várias enzimas e biomoléculas (ex.: ácido ascórbico, tocoferol e carotenóides) responsável pela remoção de radicais tóxicos acumulados devido a alterações metabólicas, inclusive danos no aparato fotossintético (FOYER et al., 1994).

2.6 Teor Relativo de Água

O teor relativo de água (TRA) na folha é definido como sendo a quantidade de água de um tecido comparada com a máxima quantidade que ele poderá reter em um dado momento (CAIRO, 2005). Sendo assim, o TRA é considerado a variação de massa de água do tecido, a qual, por sua vez, decorre da variação de massa de água da célula e, conseqüentemente, da variação do volume celular, entre a turgescência plena e a perda da turgescência (ANGELOCCI, 2002).

O controle das funções fisiológicas está diretamente relacionado com o conteúdo hídrico da planta e alterações no TRA afetam diretamente todo o aparato fotossintético. Além disso, a resposta fotossintética frente deficiência hídrica pode apresentar variação de acordo com o cultivar (COLOM; VAZZANA, 2003).

Para que se tenha uma avaliação confiável do status hídrico de um vegetal, tanto o teor de relativo de água quanto o potencial hídrico são considerados essenciais e indispensáveis (CAIRO, 2005; PIMENTEL, 2004).

São várias as alterações ocorridas nas plantas devido à escassez de água, porém, é comum observar que uma redução de 25% no TRA é responsável por ocasionar uma repressão em todo o aparato fotossintético. Uma diminuição entre 10 a 20% no TRA diminui consideravelmente a taxa de assimilação de CO₂ e a condutância estomática em plantas de feijão (PINCELLI, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de realização do projeto

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Centro de tecnologia Canavieira (CTC), localizada no município de Piracicaba, SP (22°41' Latitude Sul, 47°33' Longitude Oeste e 554 metros de altitude) (Figura 1).

Figura 1 - Casa-de-vegetação - CTC

3.2 Material Vegetal

O experimento foi composto por vinte variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pertencentes ao banco de germoplasma do CTC: CTC1, CTC2, CTC3, CTC4, CTC5, CTC6, CTC7, CTC8, CTC9, CTC10, CTC11, CTC12, CTC13, CTC14, CTC15, CT94-3116, SP83-2847, SP83-5073, SP90-1638 e SP90-3414.

As variedades SP83-5073 e SP83-2847 foram utilizadas como padrão de tolerância (GONÇALVES, 2008; PINCELLI, 2010) e as variedades SP90-1638 e SP90-3414 como padrão de susceptibilidade. Os critérios de seleção desse conjunto de variedades foram observações empíricas de campo realizadas por técnicos especializados do programa de melhoramento do CTC, bem como o histórico destas variedades com relação à resposta ao déficit hídrico.

As plantas foram obtidas por meio de brotação das gemas provenientes de toletes de mesma idade e bom aspecto fitossanitário.

CTC1

Desenvolvimento e fechamento de entrelinhas médias, hábito final com tombamento médio, colmos de diâmetro médio, com despalha fácil, de cor amarelado-esverdeada, entrenós de comprimento médio, com pouca cera. Destaques: Alta precocidade e alto teor de sacarose.

CTC2

Desenvolvimento ereto, bom fechamento de entrelinhas, hábito final ereto, colmos de diâmetro médio, com despalha fácil, de cor amarelo-esverdeada, entrenós médios, com pouca cera e rachaduras rasas frequentes. Destaques: alta produtividade, ótima brotação de soqueira, rusticidade.

CTC3

Desenvolvimento vigoroso, hábito final sem tombamento, colmos médios a longos, de diâmetro médio, com despalha fácil, de cor roxa ao sol e roxo amarelada sob a palha, com ziguezague suave pouca cera. Destaques: Alta produtividade, boa brotação de soca.

CTC4

Desenvolvimento vigoroso, hábito final sem tombamento, colmos médios a longos, de diâmetro fino a médio , com despalha fácil e bom perfilhamento, de cor amarelo-arroxeadada, cerosidade média. Destaques: Alta produtividade e alto teor de sacarose

CTC5

Desenvolvimento vigoroso e aberto, hábito final com médio tombamento, colmos médios, de diâmetro médio a grosso, com despalha fácil e perfilhamento médio a alto, de cor amarelo-esverdeada, com muita cera .Destaques: Alta precocidade e alto teor de sacarose.

CTC6

Hábito de crescimento levemente decumbente, despalha fácil e perfilhamento médio, internódios de comprimento médio com diâmetro médio a grosso. Destaca-se pela sua alta produtividade agrícola, sendo recomendada para colheita do meio para o final de safra, em ambientes de boa e média produção. Apresenta fibra baixa, médio florescimento e nenhuma isoporização.

CTC7

Hábito de crescimento levemente decumbente, despalha fácil e perfilhamento médio, internódios de comprimento médio com diâmetro médio a grosso de formato cilíndrico. Destaca-se pelo seu alto teor de sacarose e sua precocidade, é recomendada para colheita no início da safra, em ambientes de média e alta produção. Apresenta fibra média, pouco florescimento e pouca isoporização.

CTC8

Hábito de crescimento ereto, com despalha média e intenso perfilhamento. Apresenta internódios de comprimento médio, de formato conoidal, sem rachaduras. Destaca-se pela sua ótima brotação de soqueira, é recomendada para colheita de meio para o final de safra, em ambientes de média produção.

CTC9

Hábito de crescimento levemente decumbente, despalha média e perfilhamento médio. Destaca-se pelo seu alto teor de sacarose e sua precocidade, é recomendada para colheita no início de safra, em ambientes de média a baixa produção. Apresenta fibra média, pouco florescimento e pouca isoporização.

CTC10

Hábito de crescimento levemente decumbente, com despalha média; internódios de comprimento médio, cilíndricos, com ziguezague suave; gemas redondas, folhas com pontas curvas, de tonalidade intermediária e aurículas assimétricas; palmito de comprimento médio. Destaques: alta produtividade em todas as regiões do Centro-Sul; responsiva.

CTC11

Hábito de crescimento ereto, com despalha média; internódios de comprimento médio, cilíndricos, com ziguezague suave; gemas redondas; folhas com as pontas curvas, de tonalidade intermediária a escura e aurículas assimétricas; palmito de comprimento médio. Destaques: produtividade alta, ótima soqueira, boa colheitabilidade e resposta à maturadores.

CTC12

Hábito de crescimento ereto, com despalha fácil; internódios de comprimento curto a médio, tumescentes, com ziguezague suave; gemas triangulares; folhas eretas, de tonalidade intermediária a escura e aurículas assimétricas; palmito de comprimento curto. Destaques: colheitabilidade, precocidade e alto teor de sacarose.

CTC13

Hábito de crescimento levemente decumbente, com despalha fácil; internódios de comprimento médio, bobinados, com ziguezague suave; gemas triangulares; folhas com as pontas curvas, de tonalidade intermediária e aurículas assimétricas; palmito de comprimento médio. Destaques: Precocidade, excelente colheitabilidade, estável e responsiva.

CTC14

Hábito de crescimento levemente decumbente, com despalha fácil; internódios de comprimento médio a longo, conoidais, com ziguezague suave; gemas pentagonais; folhas com as pontas curvas, de tonalidade escura e aurículas assimétricas; palmito de comprimento longo. Destaque: Excelente colheitabilidade, estável e responsiva.

CTC15

Hábito de crescimento levemente decumbente, com despalha média; internódios de comprimento médio, cilíndricos, com ziguezague suave; gemas pentagonais, folhas com pontas curvas, de tonalidade intermediária a escura e aurículas assimétricas; palmito de comprimento longo. Destaques: Produtividade alta, longevidade, tolerância à seca e estabilidade.

SP83-2847

Hábito de crescimento rápido e levemente decumbente, despalha e perfilhamento médio. Destaca-se pela sua alta produtividade, mesmo em solos de baixa fertilidade, onde se recomenda sua exploração. Apresenta tombamento, baixo teor de sacarose e maturação tardia, devendo ser colhida no final da safra.

SP83-5073

Hábito de crescimento ereto com pouco acamamento, despalha e perfilhamento médios, crescimento regular e uniformidade média. Destaca-se pelo alto teor de sacarose e precocidade. Exigência média em fertilidade do solo, baixo florescimento e ausência de isoporização, teor de fibra alto e não apresenta sensibilidade a herbicidas.

SP90-1638

Hábito de crescimento levemente decumbente, despalha entre natural e fácil e alto perfilhamento. Destaca-se pela alta produtividade e ótimo perfilhamento e brotação de soqueira sob a palha, baixo florescimento e isoporização. É recomendada para colheita do meio para o final de safra, nos ambientes de produção A e B. Apresenta baixa fibra, teor de sacarose e precocidade médios.

SP90-3414

Hábito de crescimento ereto, uniforme, com despalha entre natural e fácil e bom perfilhamento. Destaca-se pelo seu porte ereto, por não florescer, isoporizar pouco e pela sua alta produção, sendo recomendada para o final de safra, nos ambientes de produção A, B e C, respondendo positivamente nos melhores ambientes. Apresenta teor de sacarose e precocidade médios.

CT94-3116

Hábito de crescimento levemente decumbente. Destaca-se pela sua alta produtividade, ótimo perfilhamento e baixo teor de sacarose. Material vegetal não liberado comercialmente.

3.3 Tratamentos, delineamento experimental e análise estatística

Mini toletes com uma única gema de cana-de-açúcar foram plantados em caixas plásticas de modo a garantir o estabelecimento e a homogeneidade das mudas a serem utilizadas no experimento. Uma única planta foi transferida para cada vaso 30 dias após o plantio (DAP).

Foram utilizados vasos de polietileno de 50 litros, preenchido substrato comercial Plantmax® (contendo macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento da planta) misturados a 320g do adubo de liberação lenta próprio para substrato agrícola Basacote® 12M.

O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, 20x4, sendo os fatores: vinte variedades x quatro tratamentos de déficit hídrico, com três repetições, totalizando 240 vasos. As variedades de cana-de-açúcar foram alocadas na parcela e, na subparcela, foram alocados os tratamentos de déficit hídrico (Figura 2).

Figura 2 - Disposição do experimento na casa-de-vegetação

Do plantio até os 180 DAP todos os vasos receberam água na mesma quantidade a fim de proporcionar bom desenvolvimento a todas as plantas. Aos 180DAP iniciaram-se os tratamentos: supressão de rega por três dias (3 dias), supressão de rega por dez dias (10 dias), supressão de rega por vinte dias (20 dias). No tratamento controle as plantas permaneceram sem restrição hídrica.

Para análise dos resultados foi empregado o tratamento estatístico das características individuais. A análise de variância foi realizada pelo teste de F e as médias comparadas entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (SCOTT; KNOTT, 1974).

3.4 Avaliações

Os parâmetros avaliados consistiram em: determinação do conteúdo relativo de clorofila, eficiência quântica potencial do fotossistema II, teor relativo de água, incremento em altura dos colmos e as características tecnológicas da matéria-prima: Brix e Pol. Todos os parâmetros foram avaliados após a aplicação dos tratamentos.

3.4.1 Condições ambientais no interior da casa-de-vegetação

Durante o período experimental, as condições ambientais no interior da casa-de-vegetação, representadas pela temperatura média e umidade relativa média do ar, foram medidas diariamente com um termo higrômetro.

3.4.2 Conteúdo relativo de clorofila (CC)

O conteúdo de clorofila foi determinado usando um clorofilômetro SPAD-502. A leitura de três medidas nas folhas +1 foi considerada para a estimativa da média. A leitura (unidade SPAD) corresponde ao teor de pigmento na folha, e seu valor, é equivalente à quantidade de clorofila existente na folha (Figura 3).

Figura 3 - Clorofilômetro SPAD e detalhe da medição do conteúdo relativo de clorofila

O TRA foi calculado por intermédio de equação (eq. 1), conforme metodologia apresentada por Martin et al. (1989):

$$\text{TRA} = [(W_f - W_d) \cdot (W_t - W_d)^{-1}] \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

3.4.5 Incremento em altura dos colmos (IAC)

A altura dos colmos foi mensurada com o auxílio de régua graduada, medido do nível do solo do vaso até o último *dewlap* visível (folha +1). Foram medidas três plantas em cada observação, considerando o valor médio. O incremento em altura dos colmos, expresso em centímetros, foi calculado como sendo a diferença entre a altura após a aplicação dos tratamentos e a altura inicial.

3.4.6 Características tecnológicas da matéria prima (CTMP)

Por ocasião da colheita, foram retirados todos os colmos de cana-de-açúcar em cada parcela, que após identificações e pesagens, foram enviados para laboratório, para análises tecnológicas. As amostras foram submetidas a processo de pré-secagem a 60°C, em estufa de ventilação forçada por 72 horas. Após a pré-secagem, as mesmas foram moídas, para a realização das análises laboratoriais. As determinações foram realizadas conforme metodologia apresentada por Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo - CONSECAN (2006).

Foram avaliadas as seguintes características tecnológicas: Brix (% caldo) que é a porcentagem em massa de sólidos solúveis contidos no caldo da cana-de-açúcar e Pol (% cana) que é a porcentagem em massa de sacarose aparente contida no caldo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O déficit hídrico altera uma série de parâmetros fisiológicos como expansão foliar, condutância estomática, captura e dissipação de energia, fotossíntese e, conseqüentemente, a produtividade das culturas agrícolas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Todavia, essas alterações, assim como a adaptação das plantas a condições adversas, estão fortemente associadas à duração e intensidade do estresse, a espécie, e genótipo analisado (TURNER, 1986) e ainda do estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra.

É importante destacar que o material vegetal produzido nesse experimento permitiu a caracterização da resposta antioxidativa para cada variedade e déficit hídrico imposto, que foram apresentados em outra dissertação (CIA, 2010).

Em seu estudo, CIA (2010) observou a ocorrência de estresse oxidativo através da peroxidação lipídica e concentração do peróxido de hidrogênio. A resposta do sistema antioxidante variou em função das variedades estudadas e da intensidade do estresse aplicado.

Para facilitar a interpretação dos resultados, a discussão encontra-se separada por parâmetro avaliado. De maneira geral, o déficit hídrico provocou reduções significativas na eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), no conteúdo relativo de clorofila (CC), medido pelo SPAD, no teor relativo de água (TRA) e no incremento em altura dos colmos (IAC), nos tratamentos 10 e 20 dias de supressão rega.

No entanto, não foi observada diferença significativa para nenhuma variável analisada, entre o tratamento controle e supressão de rega de 3 dias (Tabela 1).

Tabela 1 - Média dos parâmetros avaliados sob efeito do déficit hídrico, independente da variedade

Déficit hídrico	CC	Fv/Fm	TRA	IAC	BRIX	POL
Controle	31,6 a	0,779 a	90,3 a	15 a	16,4 a	11,0 a
3 dias	31,3 a	0,777 a	88,5 a	14 a	16,4 a	10,9 a
10 dias	26,5 b	0,739 b	82,8 b	11 b	16,4 a	10,6 b
20 dias	21,5 c	0,651 c	70,0 c	5 c	16,2 b	10,1 c

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. CC: conteúdo relativo de clorofila; Fv/Fm: eficiência quântica potencial do fotossistema II; TRA: teor relativo de água; IAC: Incremento em altura dos colmos; BRIX: teor de sólidos solúveis; POL: porcentagem em massa de sacarose aparente contida no caldo.

4.1 Condições ambientais no interior da casa-de-vegetação

As condições ambientais no interior da casa-de-vegetação foram monitoradas durante o período de imposição dos tratamentos de déficit hídrico. A temperatura máxima, média e mínima foram, respectivamente, $30,2 \pm 5,7^{\circ}\text{C}$, $16,8 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$ e $9,3 \pm 3,0^{\circ}\text{C}$ (Figura 5).

Figura 5 - Temperatura no interior da casa-de-vegetação durante o período dos tratamentos

A umidade relativa (%) média foi de $71,5 \pm 5,1\%$. A umidade relativa máxima e mínima foram, respectivamente, $86,5\% \pm 1,2\%$ e $43,7 \pm 12,9\%$ (Figura 6).

Figura 6 - Umidade Relativa (%) no interior da casa-de-vegetação durante o período dos tratamentos

4.2 Conteúdo Relativo de Clorofila (CC)

De acordo com os resultados da análise de variância, observaram-se efeitos significativos na variável conteúdo relativo de clorofila promovido pelos fatores variedades e déficit hídrico ($P < 0,001$). O efeito da interação entre as variedades x deficiência hídrica ($P < 0,01$) foi significativo, o que indica comportamento distinto das variedades nos tratamentos de déficit hídrico (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de variância do conteúdo relativo de clorofila (CC), em cana-de-açúcar sob efeito de variedades e déficit hídrico

Causas de Variação	G.L.	Valores de F	
		CC (unidades SPAD)	
Blocos	2		
Variedades	19	14,43	***
Resíduo	38		
Parcelas	59		
Déficit Hídrico	3	155,62	***
Var x Déficit	57	1,89	**
Resíduo B	120		
Total	239		
CV (%) parcela		12,29	
CV (%) subparcela		10,66	

G.L.: Graus de liberdade; **: significativo ($P < 0,01$); ***: significativo ($P < 0,001$); C.V.: coeficiente de variação.

A degradação da clorofila é uma das consequências da deficiência hídrica, que resulta na perda da cor verde das folhas (LONG et al., 1994). O uso desta técnica também é de fácil obtenção e vem se mostrando confiável para diferenciar entre plantas tolerantes e sensíveis a deficiência hídrica (O'NEILL et al., 2006).

Os resultados indicam que para todas as variedades, 3 dias de déficit hídrico não causaram danos fisiológicos significativos e eventuais danos poderiam ser revertidos pelo retorno da irrigação (Tabela 3). Efeoglu et al. (2009), verificaram completo restabelecimento do conteúdo de clorofila e TRA em plantas de milho após reidratação, mesmo para a cultivar sensível à seca. Submetidas à deficiência hídrica de 28 e 56 dias, Pincelli (2010) observou que o conteúdo relativo de clorofila teve menor redução

nas variedades tolerantes comparadas as sensíveis, inclusive em uma variedade utilizada neste estudo (SP83-2847).

Aos 20 dias de déficit hídrico, todas as variedades reduziram o conteúdo relativo de clorofila. As variedades CTC1, CTC2, CTC4, CTC7, CTC12, CTC15, CT94-3116 e SP83-2847 tiveram pouca redução nesse parâmetro, enquanto as variedades CTC5, CTC8, CTC11, SP90-1638 e SP90-3414 tiveram grande redução nos valores do índice SPAD, respectivamente, 20% e 51%. As demais apresentaram redução intermediária em torno de 35%.

Tabela 3 - Conteúdo relativo de clorofila (CC), expresso em unidades SPAD, entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico

Variedades	Controle	3 dias	10 dias	20 dias
CT94-3116	38,3 a	36,1 a	33,9 a	31,2 a
CTC12	37,9 a	35,6 a	33,8 a	28,4 a
SP83-2847	34,7 a	32,5 a	28,3 a	27,5 a
CTC15	34,0 a	33,6 a	29,9 a	27,4 a
CTC6	31,1 b	33,4 a	29,2 a	26,1 a
CTC2	27,1 b	28,5 b	27,1 a	24,5 a
CTC4	32,7 a	34,5 a	29,7 a	24,3 a
CTC7	35,0 a	33,3 a	29,0 a	24,1 a
CTC1	26,9 b	29,3 b	24,6 b	23,2 a
CTC14	33,9 a	33,5 a	30,4 a	21,2 b
CTC9	27,5 b	27,9 b	23,4 b	20,9 b
SP83-5073	31,5 b	32,8 a	30,7 a	20,4 b
CTC13	30,5 b	32,6 a	24,4 b	20,0 b
CTC3	31,7 b	32,8 a	25,6 b	19,8 b
CTC10	29,8 b	27,9 b	19,3 c	18,0 b
CTC8	27,0 b	27,4 b	22,8 b	16,7 c
SP90-3414	34,5 a	32,4 a	27,4 a	15,4 c
CTC11	31,7 b	29,3 b	18,7 c	15,0 c
CTC5	26,9 b	25,4 b	23,7 b	14,4 c
SP90-1638	29,6 b	26,3 b	18,0 c	11,0 c

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Além disso, analisando o efeito de déficit hídrico dentro de cada variedade, apenas CTC1, CTC2, CTC6, CTC9, CTC15, CT94-3116 e SP83-2847 não reduziram significativamente o conteúdo relativo de clorofila aos 20 dias (Figura 7).

Figura 7 - Desdobramento da interação do tratamento de déficit hídrico dentro de cada variedade para o conteúdo relativo de clorofila (CC). Dados classificados em ordem decrescente, pelo tratamento 20 dias de déficit hídrico

Sendo assim, os resultados deste trabalho estão de acordo com Silva et al. (2007), que considera o conteúdo relativo de clorofila estimado através do índice SPAD uma ferramenta efetiva para diferenciar cultivares de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis à deficiência hídrica.

4.3 Eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm)

Pela da análise de variância, observaram-se efeitos significativos na variável Fv/Fm promovido pelos fatores variedades e déficit hídrico ($P < 0,1$ e $P < 0,001$). Além disso, observou-se que a interação entre as variedades e deficiência hídrica foi significativa a 0,01%, indicando haver comportamento distinto das variedades nos tratamentos de déficit hídrico (Tabela 4).

Sob déficit hídrico de curta duração, supressão de rega por 03 e 10 dias, Fv/Fm não demonstrou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott, para nenhuma das variedades estudadas, possivelmente, devido à estabilidade do PSII quando as plantas são expostas a curtos períodos de déficit hídrico (HAVAUX, 1992).

Tabela 4 - Análise de variância da eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) em cana-de-açúcar sob efeito de variedades e déficit hídrico

Causas de Variação	G.L.	Valores de F	
		Fv/Fm	
Blocos	2		
Variedades	19	1,90	*
Resíduo	38		
Parcelas	59		
Déficit Hídrico	3	214,80	***
Var x Déficit	57	2,02	***
Resíduo B	120		
Total	239		
CV (%) parcela		4,71	
CV (%) subparcela		4,77	

G.L.: Graus de liberdade; *: significativo ($P < 0,001$); ***: significativo ($P < 0,001$); C.V.: coeficiente de variação.

Provavelmente, o estresse hídrico imposto às plantas não ocasionou fotoinibição, o que sugere a ausência de danos severos no complexo coletor de luz do PSII, conforme o exposto por Queiroz et al. (2002) para plantas de aroeira sob déficit hídrico.

Para o tratamento de supressão de rega de 10 dias, as variedades reduziram o conteúdo de clorofila, porém não foi observada diferença significativa para Fv/Fm. Estudos em outras espécies também demonstraram que Fv/Fm não sofre alteração até que déficit hídrico moderado a severo seja imposto (PANKOVIC et al., 1999) (Tabela 5).

A seca reduz a concentração de pigmentos fotossintetizantes, em folhas de *Melissa officinalis*, sem que ocorra alteração na atividade do PSII, sugerindo que a redução no conteúdo de clorofila pode funcionar como um mecanismo regulatório que permite as plantas reduzir o risco de superexcitação e dano fotooxidativo, segundo Munné-Bosch e Alegre (1999 apud YORDANOV et al., 2000).

Em *A. thaliana* a fotossíntese pode ser reduzida antes que qualquer variação no conteúdo de clorofila seja perceptível, nos estágios finais de desenvolvimento (STESSMAN et al., 2002). A combinação de alto conteúdo de clorofila e baixa assimilação de CO₂ pode causar um desbalanço entre a captura e dissipação de energia resultando em fotoinibição (WINGLE et al., 2003) e senescência (STESSMAN et al., 2002).

Apenas aos 20 dias de restrição na disponibilidade de água, observou-se diferença significativa ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott. A eficiência fotossintética é afetada apenas em condições de estresse hídrico com relativa significância e, os valores de Fv/Fm, podem ser considerados bons indicadores deste tipo de estresse de moderada e alta intensidade (SILVA et al., 2007).

As variedades CTC2, CTC4, CTC6, CTC15, CTC4, SP83-2847 e SP83-5073 sofreram a menor redução, cerca de 10%, em relação ao controle, enquanto para CTC5, CTC13, CTC14, SP90-1638 e SP90-3414 os decréscimos foram superiores a 20%. As demais variedades apresentaram valores entre 10 e 20%.

Gonçalves (2008), estudando cana de açúcar sob restrição hídrica em casa de vegetação, observou reduções de 11,6%, na mesma variável, para a condição de restrição hídrica severa quando comparado ao controle. Do mesmo modo, O'Neill et al.

(2006) obtiveram reduções de 7,8% em híbridos de milho submetidos à deficiência hídrica.

Tabela 5 - Eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico

Variedades	Controle	3 dias	10 dias	20 dias
CTC15	0,775 <i>a</i>	0,763 <i>a</i>	0,736 <i>a</i>	0,728 <i>a</i>
CTC6	0,782 <i>a</i>	0,785 <i>a</i>	0,758 <i>a</i>	0,714 <i>a</i>
SP83-2847	0,784 <i>a</i>	0,787 <i>a</i>	0,771 <i>a</i>	0,706 <i>a</i>
SP83-5073	0,791 <i>a</i>	0,788 <i>a</i>	0,780 <i>a</i>	0,704 <i>a</i>
CTC2	0,783 <i>a</i>	0,784 <i>a</i>	0,774 <i>a</i>	0,702 <i>a</i>
CTC4	0,787 <i>a</i>	0,788 <i>a</i>	0,753 <i>a</i>	0,699 <i>a</i>
CTC12	0,777 <i>a</i>	0,775 <i>a</i>	0,731 <i>a</i>	0,673 <i>a</i>
CT94-3116	0,776 <i>a</i>	0,761 <i>a</i>	0,723 <i>a</i>	0,672 <i>a</i>
CTC11	0,776 <i>a</i>	0,770 <i>a</i>	0,714 <i>a</i>	0,665 <i>a</i>
CTC7	0,765 <i>a</i>	0,769 <i>a</i>	0,716 <i>a</i>	0,661 <i>a</i>
CTC9	0,796 <i>a</i>	0,786 <i>a</i>	0,724 <i>a</i>	0,657 <i>a</i>
CTC8	0,767 <i>a</i>	0,767 <i>a</i>	0,728 <i>a</i>	0,650 <i>a</i>
CTC3	0,778 <i>a</i>	0,774 <i>a</i>	0,740 <i>a</i>	0,639 <i>b</i>
CTC1	0,772 <i>a</i>	0,767 <i>a</i>	0,737 <i>a</i>	0,627 <i>b</i>
CTC10	0,815 <i>a</i>	0,823 <i>a</i>	0,769 <i>a</i>	0,619 <i>b</i>
CTC5	0,780 <i>a</i>	0,782 <i>a</i>	0,745 <i>a</i>	0,611 <i>b</i>
CTC13	0,767 <i>a</i>	0,759 <i>a</i>	0,706 <i>a</i>	0,586 <i>b</i>
SP90-3414	0,772 <i>a</i>	0,777 <i>a</i>	0,746 <i>a</i>	0,582 <i>b</i>
SP90-1638	0,768 <i>a</i>	0,761 <i>a</i>	0,677 <i>a</i>	0,566 <i>b</i>
CTC14	0,777 <i>a</i>	0,776 <i>a</i>	0,751 <i>a</i>	0,555 <i>b</i>

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Analisando o efeito do tratamento dentro de cada variedade, apenas CTC4, CTC6, CTC15 e SP83-2847 não apresentaram variação significativa ao longo de todo o experimento para o parâmetro considerado (Figura 8).

De acordo com Silva et al. (2007), a habilidade em manter altos valores de Fv/Fm sob condições de estresse promovido por deficiência hídrica indica que a planta mantém alta eficiência do uso da radiação pela assimilação de carbono.

Figura 8 - Desdobramento da interação do tratamento de déficit hídrico dentro de cada variedade para eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m). Dados classificados em ordem decrescente, pelo tratamento 20 dias de déficit hídrico

Ainda, a manutenção de Fv/Fm elevada, assim como o conteúdo de clorofila e TRA, sob maior déficit hídrico tem sido correlacionada com a tolerância à seca em gramíneas, milho e girassol (COLOM; VAZZANA, 2003; O'NEILL et al., 2006; GIMENEZ et al., 1992).

Portanto, os resultados deste trabalho estão de acordo com o grau de tolerância das variedades. Assim como Silva et al. (2007), a técnica de fluorescência da clorofila a mostrou ser confiável em diferenciar entre cultivares de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis a deficiência hídrica, além de não ser destrutiva e de fácil obtenção por meio da fluorometria.

4.4 Teor Relativo de Água (TRA)

De acordo com os resultados da análise de variância, observaram-se efeitos significativos a 0,01% no teor relativo de água promovido apenas pelo fator déficit hídrico (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de variância do teor relativo de água (TRA) sob efeito de variedades e déficit hídrico

Causas de Variação	G.L.	Valores de F	
		TRA	
Blocos	2		
Variedades	19	0,99	
Resíduo	38		
Parcelas	59		
Déficit Hídrico	3	104,25	***
Var x Déficit	57	1,06	
Resíduo B	120		
Total	239		
CV (%) parcela		9,60	
CV (%) subparcela		8,37	

G.L.: Graus de liberdade; **: significativo (P<0,01); ***: significativo (P<0,001); C.V.: coeficiente de variação.

Houve queda do TRA na folha de todas as variedades submetidas a déficit hídrico. Hsiao (1973) considera que redução menor que 10% no TRA indica que a planta passa por estresse hídrico leve, entre 10 e 20% estresse moderado e, acima de 20%, estresse severo.

Apenas CTC12 e SP90-1638 sofreram decréscimo de 10% no TRA após 3 dias de supressão da irrigação. A redução no TRA nestes materiais, não foi acompanhada de aumento na concentração de prolina, osmorregulador cujo incremento pode ser relacionado com a redução do potencial osmótico sob estresse hídrico (CIA, 2010).

Aos 10 dias de déficit hídrico a maioria das variedades apresentaram valores finais de TRA entre 88 e 80% de TRA. Embora não tenham demonstrado diferença estatística, CTC3, CTC4, CTC5, CTC11 e CTC14 alcançaram valores de TRA entre 79 e 72% (Tabela 7). Pincelli (2010) encontrou valores finais próximos entre os grupos de variedades tolerantes e sensíveis, revelando capacidade semelhante dos dois grupos em manter água nos tecidos.

Tabela 7 - Teor relativo de água entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico

Variedades	Controle	3 dias	10 dias	20 dias
CTC15	90,7 <i>a</i>	94,9 <i>a</i>	84,4 <i>a</i>	80,1 <i>a</i>
CT94-3116	86,6 <i>a</i>	87,8 <i>a</i>	82,2 <i>a</i>	78,2 <i>a</i>
CTC6	88,6 <i>a</i>	87,3 <i>a</i>	83,7 <i>a</i>	76,5 <i>a</i>
CTC11	88,6 <i>a</i>	84,6 <i>a</i>	72,6 <i>a</i>	76,0 <i>a</i>
SP83-2847	96,3 <i>a</i>	91,2 <i>a</i>	88,9 <i>a</i>	75,1 <i>a</i>
CTC9	89,6 <i>a</i>	94,1 <i>a</i>	83,0 <i>a</i>	73,2 <i>a</i>
CTC12	92,2 <i>a</i>	83,0 <i>a</i>	83,6 <i>a</i>	72,9 <i>a</i>
CTC7	86,7 <i>a</i>	90,0 <i>a</i>	84,7 <i>a</i>	71,5 <i>a</i>
CTC2	93,5 <i>a</i>	85,9 <i>a</i>	85,9 <i>a</i>	70,4 <i>a</i>
CTC14	93,5 <i>a</i>	89,2 <i>a</i>	79,3 <i>a</i>	70,3 <i>a</i>
CTC10	91,2 <i>a</i>	90,5 <i>a</i>	83,6 <i>a</i>	69,5 <i>a</i>
CTC13	86,9 <i>a</i>	86,6 <i>a</i>	84,0 <i>a</i>	69,2 <i>a</i>
SP90-1638	90,3 <i>a</i>	81,2 <i>a</i>	86,4 <i>a</i>	68,6 <i>a</i>
CTC8	90,6 <i>a</i>	90,3 <i>a</i>	87,8 <i>a</i>	68,2 <i>a</i>
SP90-3414	89,3 <i>a</i>	85,8 <i>a</i>	86,1 <i>a</i>	67,9 <i>a</i>
CTC5	92,5 <i>a</i>	89,6 <i>a</i>	78,3 <i>a</i>	67,8 <i>a</i>
CTC4	90,3 <i>a</i>	83,9 <i>a</i>	75,8 <i>a</i>	66,6 <i>a</i>
SP83-5073	90,4 <i>a</i>	91,4 <i>a</i>	85,8 <i>a</i>	61,0 <i>a</i>
CTC1	87,4 <i>a</i>	88,5 <i>a</i>	81,7 <i>a</i>	60,9 <i>a</i>
CTC3	89,8 <i>a</i>	94,5 <i>a</i>	79,0 <i>a</i>	57,0 <i>a</i>

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Apenas a variedade CTC15 permaneceu com o TRA acima de 80% após 20 dias de déficit hídrico. CTC2, CTC6, CTC7, CTC9, CTC11, CTC12, CTC14, CT94-3116 e SP83-2847 apresentaram valores finais entre 78 e 70% de TRA. As variedades CTC1, CTC4, CTC5, CTC8, CTC10, CTC13, SP83-5073, SP90-3414 e SP90-1638 apresentaram valores entre 69 a 60% de TRA. Apenas a CTC3 apresentou valor abaixo de 60%.

Silva et al. (2007), ao trabalhar com oito genótipos de cana-de-açúcar, sendo quatro tolerantes e quatro sensíveis a seca em condições de campo, encontraram menor redução no TRA nas variedades tolerantes. Com exceção da SP83-5073, os resultados de TRA deste trabalho, aos 20 dias de imposição de déficit hídrico, foram relacionados com o grau de tolerância das variedades.

4.5 Incremento em altura de colmos (IAC)

A análise de variância mostrou efeitos significativos para os fatores variedades e déficit hídrico sobre a variável incremento em altura dos colmos (Tabela 8).

Um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao déficit hídrico é o crescimento celular, o qual afeta o crescimento das plantas. Portanto, a redução do crescimento é considerada a primeira e mais séria consequência da restrição hídrica nos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 8 - Análise de variância do incremento em altura dos colmos (IAC) sob efeito de variedades e déficit hídrico

Causas de Variação	G.L.	Valores de F	
		IAC	
Blocos	2		
Variedades	19	2,48	**
Resíduo	38		
Parcelas	59		
Déficit Hídrico	3	189,27	***
Var x Déficit	57	1,02	
Resíduo B	120		
Total	239		
CV (%) parcela		25,39	
CV (%) subparcela		23,51	

G.L.: Graus de liberdade; **: significativo ($P < 0,01$); ***: significativo ($P < 0,001$); C.V.: coeficiente de variação.

Todas as variedades apresentaram incremento em altura dos colmos nas condições de regime hídrico adequado (controle). O déficit hídrico de 10 e 20 dias promoveu forte redução no crescimento de altura dos colmos em todas as variedades, assim como Silva e Costa (2004). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre as variedades estudadas (Tabela 9).

Tabela 9 - – Incremento em altura dos colmos (IAC), expresso em cm, entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico

Variedades	Controle	3 dias	10 dias	20 dias
CT94-3116	12,7 a	15,3 a	9,3 a	8,0 a
CTC6	15,3 a	14,7 a	11,0 a	6,0 a
CTC15	13,7 a	14,3 a	10,3 a	6,0 a
CTC4	16,3 a	14,0 a	11,0 a	5,7 a
CTC11	12,7 a	11,0 a	8,0 a	5,3 a
CTC14	17,3 a	13,3 a	12,0 a	5,3 a
CTC1	16,7 a	14,3 a	11,0 a	5,0 a
CTC2	17,3 a	20,0 a	13,7 a	5,0 a
SP83-2847	17,0 a	14,3 a	12,0 a	5,0 a
CTC3	18,3 a	14,3 a	10,0 a	4,7 a
CTC9	17,7 a	14,7 a	13,0 a	4,7 a
SP83-5073	13,3 a	14,0 a	9,7 a	4,7 a
CTC12	13,0 a	11,0 a	7,3 a	4,3 a
SP90-1638	14,7 a	13,7 a	10,7 a	4,3 a
CTC5	15,0 a	12,7 a	12,0 a	4,0 a
CTC13	13,7 a	11,3 a	11,0 a	3,7 a
CTC8	13,7 a	14,0 a	10,0 a	3,3 a
CTC10	14,0 a	17,0 a	8,0 a	3,3 a
SP90-3414	14,3 a	9,3 a	11,7 a	3,0 a
CTC7	14,3 a	14,7 a	9,7 a	2,7 a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Aos 10 dias de déficit hídrico, as variedades CTC2, CTC5, CTC6, CTC8, CTC9, CTC13, CTC15, CT943116, SP83-2847, SP83-5073, SP90-1638 e SP90-3414 apresentaram uma redução de crescimento, comparada ao controle, entre 20 a 30%. As demais variedades, redução em torno de 30 a 45%. Aos 20 dias de déficit hídrico, o incremento em altura dos colmos das variedades SP83-2847 e SP83-5073 (5,0 e 4,7 cm, respectivamente) foram maiores que a das SP90-1638 e SP90-3414 (4,3 e 3,0 cm, respectivamente). Os maiores valores de incremento de altura dos colmos foram

obtidos pelas variedades CT94-3116, CTC15, CTC6 e CTC4 (8,0, 6,0, 6,0 e 5,7 cm, respectivamente). Já os menores valores foram observados em CTC8, CTC10 e CTC7 (3,3, 3,3 e 3,0 cm, respectivamente).

Silva et al. (2008) considera a variação na altura da planta é um indicativo de tolerância ou susceptibilidade da cana de açúcar à deficiência hídrica. Gonçalves (2008) e Pincelli (2010) encontraram respostas diferenciais para altura em quatro cultivares de cana de açúcar submetida à deficiência hídrica, porém sem diferença estatística, da mesma forma que o observado no presente estudo. De fato, a medida de altura de colmos é de grande variabilidade dentro da parcela o que dificulta a obtenção de diferença estatística entre as variedades, conforme se observa no coeficiente de variação deste ensaio.

4.6 Características tecnológicas da matéria prima (CTMP)

A análise de variância mostrou efeitos significativos para os fatores variedades e interação variedades x déficit hídrico em todos os parâmetros tecnológicos analisados. No entanto, o efeito do déficit hídrico foi significativo apenas no parâmetro Pol (% cana) (Tabela 10).

Tabela 10 - Análise de variância das características tecnológicas da matéria prima sob efeito de variedades e déficit hídrico

Causas de Variação	G.L.	Valores de F			
		Brix		Pol (% cana)	
Blocos	2				
Variedades	19	8,45	**	14,17	**
Resíduo	38				
Parcelas	59				
Déficit Hídrico	3	1,75		55,74	**
Var x Déficit	57	1,63	*	2,87	**
Resíduo B	120				
Total	239				
CV (%) parcela		5,49		9,01	
CV (%) subparcela		2,66		4,24	

G.L.: Graus de liberdade; **: significativo ($P < 0,01$); ***: significativo ($P < 0,001$); C.V.: coeficiente de variação.

Como observado por Domaingue (1996) e Silva et al. (2008), Brix não foi influenciado pelos tratamentos de déficit hídrico. Isto se deve provavelmente por que as condições de estresse foram impostas durante o período de crescimento vegetativo da cultura (Tabelas 10 e 11). Ramesh e Mahadevaswamy (2000) relataram que o efeito do estresse hídrico na acumulação de sacarose é observado mais no fim do ciclo da cultura, isto é, entre 240 e 360 dias após o plantio. Molinari et al. (2007) também se reportam ao aumento do teor de açúcares com adequado suprimento hídrico às plantas; sob condições de estresse hídrico, esses autores verificaram aumento do teor de prolina, ao invés de açúcares.

Tabela 11 - Brix entre as 20 variedades de cana-de-açúcar analisadas

Variedade	Média	SK (5%)
CTC7	17,8	a
SP83-5073	17,8	a
CTC8	17,4	a
CTC13	17,2	b
CTC1	17,0	b
CTC5	16,8	b
CTC9	16,8	b
CTC14	16,5	c
CTC12	16,3	c
CTC11	16,3	c
SP90-1638	16,2	c
CTC2	16,1	c
CTC15	16,1	c
CTC3	16,1	c
CTC4	15,9	c
CTC10	15,8	d
CTC6	15,6	d
SP90-3414	15,6	d
CT94-3116	15,3	d
SP83-2847	15,3	d

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância (SK).

O Pol (% cana) da cana-de-açúcar decresceu em função da intensidade do estresse hídrico. Aos 10 dias de déficit hídrico, as variedades apresentaram decréscimo médio de 5%, comparada ao controle. Já aos 20 dias a redução esteve em torno dos

11% (Tabela 12). Para Wiedenfeld (2000), a redução nos índices de sacarose depende do estágio de desenvolvimento em que ocorre o estresse hídrico. O autor estudou os efeitos de déficit hídrico em cinco diferentes estádios das plantas, registrando reduções de 11 a 19% no Pol (% cana), dependendo do estágio fenológico da cultura.

Aos 20 dias de déficit hídrico, as variedades CTC2, CTC8, CTC9, CTC10, CTC12, SP90-3414 e SP83-5073, apresentaram redução média de 3%, comparadas ao controle. SP90-1638, CTC5, CTC7, CTC1, CTC14 e CTC3, redução média de 7%. Já CTC11, CTC15, CTC4, CTC6, SP83-2847, CTC13 e CT94-3116 demonstraram redução média de 18% (Tabela 12).

Tabela 12 - Pol (% cana) entre as 20 variedades de cana-de-açúcar após 0, 3, 10 e 20 dias de déficit hídrico

Variedades	Controle	3 dias	10 dias	20 dias
CTC8	12,3 <i>a</i>	11,8 <i>a</i>	12,4 <i>a</i>	12,1 <i>a</i>
SP83-5073	12,3 <i>a</i>	12,1 <i>a</i>	12,0 <i>a</i>	11,8 <i>a</i>
CTC9	11,7 <i>a</i>	12,0 <i>a</i>	12,1 <i>a</i>	11,7 <i>a</i>
CTC7	12,3 <i>a</i>	12,5 <i>a</i>	11,8 <i>a</i>	11,3 <i>a</i>
CTC1	12,0 <i>a</i>	11,8 <i>a</i>	11,6 <i>a</i>	11,0 <i>a</i>
CTC13	13,0 <i>a</i>	12,3 <i>a</i>	11,9 <i>a</i>	10,7 <i>a</i>
CTC12	11,1 <i>b</i>	11,8 <i>a</i>	10,9 <i>a</i>	10,7 <i>a</i>
CTC5	11,2 <i>b</i>	10,2 <i>b</i>	11,3 <i>a</i>	10,7 <i>a</i>
SP90-1638	11,1 <i>b</i>	10,9 <i>b</i>	10,6 <i>a</i>	10,6 <i>a</i>
SP90-3414	10,5 <i>b</i>	10,5 <i>b</i>	10,5 <i>a</i>	10,2 <i>a</i>
CTC2	10,5 <i>b</i>	10,9 <i>b</i>	9,4 <i>b</i>	10,1 <i>a</i>
CTC14	10,9 <i>b</i>	11,3 <i>a</i>	10,8 <i>a</i>	10,0 <i>a</i>
CTC11	11,0 <i>b</i>	11,0 <i>b</i>	10,7 <i>a</i>	9,8 <i>a</i>
CTC15	11,1 <i>b</i>	10,5 <i>b</i>	10,5 <i>a</i>	9,8 <i>a</i>
CTC6	11,3 <i>b</i>	10,0 <i>b</i>	10,2 <i>b</i>	9,7 <i>a</i>
CTC4	10,5 <i>b</i>	10,6 <i>b</i>	10,0 <i>b</i>	9,3 <i>b</i>
CTC3	10,0 <i>b</i>	9,7 <i>b</i>	9,3 <i>b</i>	9,2 <i>b</i>
CTC10	9,4 <i>b</i>	9,8 <i>b</i>	9,9 <i>b</i>	9,1 <i>b</i>
SP83-2847	9,7 <i>b</i>	9,9 <i>b</i>	8,8 <i>b</i>	8,2 <i>b</i>
CT94-3116	9,7 <i>b</i>	9,1 <i>b</i>	8,3 <i>b</i>	6,2 <i>b</i>

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da coluna, não apresentam diferença pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Os resultados deste estudo demonstram que as variáveis Brix e Pol (% cana) não se mostraram eficientes para diferenciação de cultivares de cana-de-açúcar quanto à

tolerância/sensibilidade à seca. As variedades padrões tolerantes e sensíveis, que demonstraram comportamentos contrastantes para a maioria das variáveis avaliadas, apresentaram respostas semelhantes quanto a Brix e Pol (% cana). No estado de São Paulo, segundo Fernandes (2000), uma cana é considerada madura quando apresenta valores de Pol (% cana) entre 14,4 e 15,3%, portanto, as variedades deste estudo não estão dentro da faixa de maturação, o que pode explicar, em parte, os resultados apresentados. Ainda, cultivares de mesma classificação quanto à tolerância podem mostrar diferentes respostas ao nível morfológico, fisiológicos e moleculares, em virtude de muitas características em cana-de-açúcar terem controle multigênico (RODRIGUES et al., 2009).

5 CONCLUSÕES

O período de supressão de rega de 03 dias não foi suficiente para induzir estresse hídrico. Para cana-de-açúcar, o período de 20 dias de supressão de rega permitiu melhores respostas para identificar as diferenças morfológicas e fisiológicas dentro de variedades.

O conteúdo relativo de clorofila estimado através do índice SPAD e a técnica de eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) são influenciados pelos tratamentos de déficit hídrico e mostraram-se eficientes para diferenciar cultivares de cana-de-açúcar tolerantes e sensíveis à deficiência hídrica.

O incremento em altura dos colmos (IAC) e o teor relativo de água nas folhas (TRA) são influenciados pelo estresse hídrico, porém não se mostraram eficientes em diferenciar variedades tolerantes e sensíveis.

Pol (% cana) é influenciado negativamente pelo estresse hídrico. O Brix não é afetado pelo estresse hídrico. Tanto o Brix quanto o Pol (% cana) não se mostraram eficientes em diferenciar variedades quanto tolerância à seca.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários parâmetros bem conhecidos e utilizados de análise foram empregados nesse estudo. Seria muito improvável que um único parâmetro pudesse claramente identificar ou estar associado a todos os materiais avaliados. Como já mencionado, mesmo para uma única espécie, as variações naturais entre os genótipos que são submetidos a condições hídricas variáveis geram respostas distintas.

Mesmo considerando as restrições apresentadas acima, o presente estudo foi capaz de identificar parâmetros que podem ser preferencialmente utilizados para avaliar respostas diferenciais de variedades de cana-de-açúcar submetidas a déficit hídrico. No entanto, recomenda-se estudos mais aprofundados dessas variáveis durante todo o ciclo produtivo de cana-de-açúcar, em condições de casa de vegetação e campo.

REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: O autor, 2002. 272 p.
- ASADA, K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of reactive oxygens and dissipation of excess photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 601-639, 1999.
- BASNAYAKE, J.; COOPER, M.; LUDLOW, M.M.; HENZELL, R.G.; SNELL, P.J. Inheritance of osmotic adjustment to water stress in three grain-sorghum crosses. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 90, n. 5, p. 675-682, 1995.
- BERNDES, G. Bioenergy and water - the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, Oxford, v. 12, n. 4, p. 253-271, 2002.
- BÔLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; ÖQUIST, G.O. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BÔLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, 1993. chap. 12, p. 193-206.
- BUNCE, J. Nonstomatal inhibition of photosynthesis by water stress – reduction in photosynthesis at high transpiration rate without stomatal closure in field-grown tomato. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 18, n. 3, p. 357-362, 1988.
- CAIRO, P.A.R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32 p.
- CASTRO, P.R.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 128 p.
- CHAGAS, R.M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat**. 2007. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CIA, M.C. **Resposta antioxidativa em variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sob déficit hídrico**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- COLOM, M.R.; VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 49, n. 2, p. 135-144, 2003.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011**. Brasília, 2011. 19 p.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 122 p.
- CRUZ DE CARVALHO, M.H. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling & Behavior**, Georgetown, v. 3, n. 3, p. 156-165, 2008.
- DOMAINGUE, R. Family and varietal adaptation of sugarcane to dry conditions and relevance to selection procedures. **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists**, Durban, v. 22, p. 418–435, 1996.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179 p.
- DUVICK, D.N.; SMITH, J.S.C.; COOPER, M. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. **Plant Breeding Reviews**, Hoboken, v. 24, pt. 2, p. 109-151, 2004.
- EFGOGLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 75, n. 1, p. 34-42, 2009.
- FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000. 193 p.
- FOYER, C.H.; DESCOURVIERES, P.; KUNERT, K.J. Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. **Plant, Cell and Environmental**, Oxford, v. 17, p. 507–523, 1994.
- GIMEMEZ, C.; MITCHELL, V.J.; LAWLOR, D.W. Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress. **Plant Physiology**, Rockville, v. 98, n. 2, p. 516-524, 1992.
- GOLLAN, T.; PASSIOURA, J.B.; MUNNS, R. Soil-water status affects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, n. 4, p. 459-464, 1986.
- GONÇALVES, E.R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quarto variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.

GRAÇA, J.P.; RODRIGUES, F.A.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N; HOFFMAN-CAMPO, C.B.; ZINGARETTI, S.M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 189-197, 2010.

HAVAUX, M. Stress tolerance of photosystem II in vivo – antagonistic effects of water, heat and photoinhibition stresses. **Plant Physiology**, Rockville, v. 100, n. 1, p. 424-432, 1992.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Stanford, v. 24, p. 519-570, 1973.

INMAN-BAMBER, G.; SMITH, D. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2/3, p. 185-202, 2005.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, New York, v. 45, p. 633-662, 1994.

JONES, C.A. **C₄ grasses and cereals**: growth, development and stress response. New York: John Wiley, 1985. 419 p.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.C. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MATIN, M.A.; BROWN, J.H.; FERGUSON, H. Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. **Agronomy Journal**, Stanford, v. 81, n. 1, p. 100-105, 1989.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.M. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 659-668, 2000.

MCCREE, K.J.; FERNANDEZ, C.J. Simulaton model for studying physiological water-stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 353-360, 1989.

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22 p.

MOLINARI, H.B.C.; MARUR, C.J.; DAROS, E.; CAMPOS, M.K.F.; CARVALHO, J.F.R.P.; BESPALHOK FILHO, J.C.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E. Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v. 130, n. 2, p. 218-225, 2007.

MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, C.A.V. de; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M. de; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

MUNNÉ-BOSCH, S.; ALEGRE, L. Role of dew on the recovery of water stressed *Melisa officinalis* L. plants. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 154, n. 5, p. 759-766, 1999.

O'NEILL, P.M.; SHANAHAN, J.F.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

PANKOVIC, D.; SAKAC, Z.; KEVRESAN, S.; PLESNICAR, M. Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 330, p. 127-138, 1999.

PERCIVAL, G.C.; SHERIFFS, C.N. Identification of drought tolerance woody perennials using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 28, n. 5, p. 215-223, 2002.

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

PINCELLI, R.P. **Tolerância a deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mequita Filho”, Botucatu, 2010.

QUEIROZ, C.G.S.; GARCIA, Q.S.; LEMOS-FILHO, J.P. Photosynthetic activity and membrane lipid peroxidation of aroeira-do-sertão plants under water stress and after rehydration. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 14, n. 1, p. 59-63, 2002.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

RODRIGUES, F.A.; LAIA, M.L.; ZINGARETTI, S.M. Analysis of gene expression profiles under water stress in tolerant and sensitive sugarcane plants. **Plant Science**, Irlanda, v. 176, n. 2, p. 286-302, 2009.

RONG-HUA, L.; GUO, P.G; MICHAEL, B.; STEFANIA, G.; SALVATORE, C. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Science in China**, Beijing, v. 5, n. 10, p. 751-757, 2006.

ROSENFELD, U. **Período crítico de deficiência hídrica para a cana planta em cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. 89 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SHARKEY, T. Water stress effects on photosynthesis. **Photosynthetica**, Madison, v. 24, n. 4, p. 651-651, 1990.

SHAW, M.E.A.; INNES, R.F. The growth pattern and yield of annual cane planted at different seasons and effects of nitrogen treatments. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., 1965, San Juan. **Proceedings...** Amsterdam: ISSCT, 1965. p. 401-428.

SHIGAKI, F.; BERTO, A.; LIMA, E.; ZONTA, E.; CEDDIA, M.B.; FREITAS, N. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo de N e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema - RJ. **Revista Universidade Rural - Série Ciências Exatas e da Terra**, Seropédica, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2003.

SILVA, A.L.; COSTA, W.A.J.M. Varietal variations in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, Sri Lanka, v. 16, p. 1-12, 2004.

SILVA, M.A.; JIFON, J.L.; Da SILVA, J.A.G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n.3, p. 193-201, 2007.

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

SIMPSON, G.M. **Water stress on plants**. New York: Praeger Publishers, 1981. 324 p.

SMIT, M.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, n. 2/3, p. 91-97, 2006.

STESSMAN, D.; MILLER, A.; SPALDING, M.; RODERMEL, S. Regulation of photosynthesis during Arabidopsis leaf development in continuous light. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 72, n. 1, p.21-37, 2002.

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

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **South African Sugar Cane Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 593-635, 1976.

TURNER, N.C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. **Australian Journal Plant Physiology**, Rockville, v. 13, n. 1, p. 175-190, 1986.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. v. 1, 371 p.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J.F.H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 25, n. 3, p. 147-150, 1990.

VAN RENSBURG, L.A.S.; KRUGER, G. H. J. Evaluation of components of oxidative stress metabolism for use selection of drought tolerant cultivars of *Nicotiana tabacum* L. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v.143, n. 6, p.730-737, 1994.

WIEDENFELD, R.P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugar cane yield and quality. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 43, n. 2/3, p. 101-108, 1995.

_____. Water stress during different sugar cane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 173-182, 2000.

WRIGHT, D.P.; BALDWIN, B.C.; SHEPHARD, M.C.; SCHOLLES, J.D. Source-sink relationships in wheat leaves infected with powdery mildew. II. Changes in the regulation of the Calvin cycle. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, New York, v. 47, n. 4, p. 255-267, 1995.

YORDANOV, I.; VELIKONA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance. **Photosynthetica**, Madison, v. 38, n.1, p. 171-186, 2000.