

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E AGRUPAMENTO
GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

GABRIELA ZAVANELLI GERONIMO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Programa
de Agricultura)

BOTUCATU

Maio – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E AGRUPAMENTO
GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

GABRIELA ZAVANELLI GERONIMO

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Programa
de Agricultura)

BOTUCATU

Maio – 2014

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

G377c Geronimo, Gabriela Zavanelli, 1986-
Características morfofisiológicas e agrupamento genético de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica / Gabriela Zavanelli Geronimo. - Botucatu : [s.n.], 2014
xi, 81 f. : tabs., grafs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2014
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Melhoramento genético. 2. Cana-de-açúcar - Condições hídricas. 3. Cana-de-açúcar - Efeito do stress. 4. Plantas - Resistencia a seca. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E AGRUPAMENTO
GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA"

ALUNA: GABRIELA ZAVANELLI GERONIMO

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA



PROF. DR. MAURICIO DUTRA ZANOTTO



PROF.ª DR.ª SAMIRA DOMINGUES CARLIN CAVALLARI

Data da Realização: 14 de março de 2014.

À minha mãe, Gláucia Regina Zavanelli, pelo apoio e amor incondicional, que no decorrer da minha vida, proporcionou-me uma inundação de carinho e amor, além de me ensinar o exercício da perseverança e da fé em Deus, para meu desenvolvimento como pessoa.

DEDICO

Ao meu noivo Sílvio Alexandre Pires Soubhía, que me deu apoio e estrutura emocional e uma enorme contribuição ao desenvolvimento deste trabalho, tornando a caminhada mais suave e agradável.

OFEREÇO

*“Que minha coragem seja maior
que meu medo, e minha força seja
tão grande quanto minha FÉ”*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me amparar, por me conceder força sobrenatural para vencer as dificuldades, acalentando meu coração, por me dar coragem para as mudanças e novas escolhas e sempre me suprir em todas as minhas necessidades.

Ao professor Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela orientação, competência, ensinamentos, estímulo, amizade e pela confiança depositada em mim.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo e pelo apoio financeiro para execução do experimento.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, por meio de Programa de Pós-Graduação em Agricultura pela oportunidade de realização deste curso.

À APTA de Jaú e ao Professor Dr. João Domingos pelo empréstimo de equipamentos.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, em especial à Vera, Amanda e Cirinho pelos auxílios.

Ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal pela instalação e infraestrutura necessária à condução do experimento.

À amiga da pós-graduação Renata Passos Pincelli, que foi uma ótima amiga e tutora, e ao amigo Rodrigo Oliver, que sempre esteve disponível para ajuda.

Aos estagiários Fernanda, Ana Carolina, Lucas e Renan que contribuíram para a execução do experimento e coleta de dados.

À amiga de pós-graduação Ana Carolina de Santana Soares, que compartilhou comigo os mesmos momentos, de ingresso, qualificação e defesa, por ser uma companheira.

Ao Carlos Jorge da Silva (Carlinhos) por me ajudar com a estatística multivariada.

Às minhas amigas de república Amanda Basso e Nádia Crossignani, que com toda a certeza ficarão para sempre no meu coração, como irmãs, difícil ficar longe de vocês!

Aos amigos que fiz em Botucatu, Juliana Rúbio e as “gemas” Isabela e Cristiane, e todos os outros da turma, meus agradecimentos por me acolherem e viverem momentos felizes ao meu lado.

Às minhas amigas Beck e Mari, que são anjos do Senhor, minhas pupilas que amo muito.

Ao meu pai Casimiro Manuel Alonso Geronimo por me apoiar e exigir de mim o máximo que eu poderia dar como pessoa, isso me fez crescer.

À minha irmã Giovana Zavanelli, por ser sempre alto astral e encher os meus dias de alegria.

Ao meu avô Antônio Zavanelli, que sempre me apoia e admira e aos meus avós que estão no céu Alaíde, Adélia e José Gimenes.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	9
4.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	9
4.2 Estresse por deficiência hídrica.....	10
4.3 Respostas morfofisiológicas causadas pela deficiência hídrica.....	12
4.3.1 Limitação no crescimento, área foliar e crescimento de raízes.....	12
4.3.2 Densidade estomática.....	14
4.3.3 Assimilação líquida e condutância estomática.....	15
4.3.4 Pigmentos fotossintéticos: clorofila a e b.....	16
4.3.5 Eficiência quântica do fotossistema II	18
4.3.6 Conteúdo relativo de água na folha (CRA).....	19
4.3.7 Potencial de água na folha (Ψ_w).....	19
4.4 Medida de dissimilaridade e agrupamento genético	20
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5.1 Instalação do experimento.....	22
5.2 Material vegetal.....	22
5.3 Tratamentos, delineamento estatístico e análise dos dados	23
5.4 Avaliações morfológicas e fisiológicas.....	24
5.4.1 Variáveis morfológicas	24
5.4.1.1 Altura de colmo.....	24
5.4.1.2 Número de folhas verdes.....	25
5.4.1.3 Área foliar	25
5.4.1.4 Densidade de estômatos	25
5.4.2 Variáveis Fisiológicas	25
5.4.2.1 Estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD (CE)	26
5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm).....	26
5.4.2.3 Condutância estomática (gs)	26

5.4.2.4	Conteúdo de clorofila via espectrofotômetro	27
5.4.2.5	Conteúdo relativo de água na folha (CRA)	27
5.4.2.6	Potencial hídrico foliar (Ψ_w).....	27
5.4.2.7	Taxa de Assimilação de CO_2 (A)	28
5.4.3	Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes	28
5.4.4	Dissimilaridade genética e agrupamento por otimização de Tocher.....	28
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1	Variáveis morfológicas	29
6.1.1	Altura do colmo.....	29
6.1.2	Número de folhas verdes.....	32
6.1.3	Área foliar	35
6.1.4	Densidade de Estômatos.....	38
6.1.4.1	Densidade Estomática na face adaxial	38
6.1.4.2	Densidade Estomática na face abaxial	41
6.2	Variáveis Fisiológicas	44
6.2.1	Potencial hídrico foliar (Ψ_w)	44
6.2.2	Conteúdo relativo de água (CRA)	47
6.2.3	Conteúdo de clorofila total (CC a +b).....	50
6.2.4	Estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD (CE)	52
6.2.5	Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm).....	55
6.2.6	Condutância estomática (gs)	58
6.2.7	Taxa de Assimilação de CO_2 (A)	61
6.3	Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes	64
6.4	Análise geral das cultivares.....	67
6.5	Dissimilaridade genética e agrupamento por otimização de Tocher	67
7	CONCLUSÕES	71
8	REFERÊNCIAS	72

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Relação das cultivares de cana-de-açúcar	23
Tabela 2. Análise de variância para a variável altura do colmo em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	29
Tabela 3. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Altura do colmo. Botucatu. SP. 2012.	32
Tabela 4. Análise de variância para a variável número de folhas verdes em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	32
Tabela 5. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Número de folhas verdes. Botucatu. SP. 2012.	35
Tabela 6. Análise de variância para a variável área foliar em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.....	36
Tabela 7. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Área Foliar. Botucatu. SP 2012.	38
Tabela 8. Análise de variância para a variável densidade estomática na face adaxial em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.....	39
Tabela 9. Análise de variância para a variável densidade estomática na face abaxial em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.....	41
Tabela 10. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Densidade estomática abaxial. Botucatu. SP. 2012.....	43
Tabela 11. Análise de variância para a variável potencial hídrico foliar (Ψ_w) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes Hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.....	44
Tabela 12. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Potencial Hídrico Foliar. Botucatu. SP. 2012.....	46
Tabela 13. Análise de variância para a variável conteúdo relativo de água (CRA) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	47
Tabela 14. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável conteúdo relativo de água. Botucatu. SP. 2012.	48
Tabela 15. Análise de variância para a variável conteúdo de clorofila em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, em 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.....	50
Tabela 16. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Conteúdo de clorofila total. Botucatu. SP. 2012.....	52
Tabela 17 . Análise de variância para a variável estimativa conteúdo de clorofila via unidade SPAD em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012..	53

Tabela 18. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Clorofila via unidade SPAD. Botucatu. SP. 2012.	55
Tabela 19. Análise de variância para a variável eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	56
Tabela 20. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável eficiência fotoquímica do fotossistema II. Botucatu. SP. 2012.	58
Tabela 21. Análise de variância para a variável condutância estomática (g_s) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	58
Tabela 22. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável condutância estomática (g_s). Botucatu. SP. 2012.	61
Tabela 23. Análise de variância para a variável Taxa de Assimilação de CO_2 (A) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	61
Tabela 24. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Taxa de Assimilação de CO_2 . Botucatu. SP. 2012.	62
Tabela 25. Análise de variância para as variáveis matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.	64
Tabela 26. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Matéria seca de parte aérea e raízes. Botucatu. SP. 2012.	65
Tabela 27. Análise geral das cultivares com somatória das notas de todas as variáveis analisadas e classificação em níveis de tolerância à deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.	67
Tabela 28. Matriz de dissimilaridade com base na distância de Mahalanobis (D^2) entre 10 genótipos de cana-de-açúcar, após 75 dias sob deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.	68
Tabela 29. Contribuição relativa (CR) de 14 variáveis morfológicas e fisiológicas para o cálculo da dissimilaridade genética de 10 genótipos de cana-de-açúcar após 75 dias sob deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.	69
Tabela 30. Agrupamento por otimização de Tocher de dez genótipos de cana após 75 dias sob deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.	69

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Altura do colmo (cm) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	31
Figura 2 Número de folhas verdes de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	34
Figura 3. Área foliar (m ²) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	37
Figura 4. Densidade estomática da face adaxial de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	40
Figura 5. Densidade estomática da face abaxial de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--) aos 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	42
Figura 6. Potencial hídrico das folhas dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--) aos 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	45
Figura 7. Conteúdo relativo de água (%) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--) aos 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	49
Figura 8. Conteúdo de clorofila de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	51
Figura 9. Estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	54
Figura 10. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F _v /F _m) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	57
Figura 11. Condutância estomática (g _s) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	60
Figura 12. Taxa de assimilação de CO ₂ (A) dez cultivares de cana submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.	63

Figura 13. Massa de matéria seca da parte aérea (PA) e de raízes de dez cultivares de cana submetidas a regime hídrico adequado (+W,) e à deficiência hídrica (-W,) aos 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos. 66

1 RESUMO

Algumas regiões do Brasil, por onde a cultura da cana-de-açúcar se expande, caracterizam-se por apresentar períodos de forte restrição hídrica, e este é o principal fator limitante ao bom desenvolvimento da cultura nestas áreas, tornando-se assim necessário o desenvolvimento de novos germoplasmas tolerantes à restrição hídrica. Identificar ferramentas adequadas de seleção e características quantificáveis podem facilitar o processo de melhoramento da cultura para tolerância à seca. A maior probabilidade de obtenção de nova cultivar ocorre com o cruzamento de genitores com características agronômicas favoráveis e com máxima distância genética entre si, para aumentar a possibilidade de obtenção de indivíduos com excelente potencial heterótico. No presente projeto foi avaliada a habilidade de algumas características morfofisiológicas para distinguir entre tolerantes e susceptíveis 10 genótipos de cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido em condição de casa de vegetação em vasos no município de Botucatu (SP). Aos 60 dias após o plantio foram iniciados os tratamentos sem deficiência hídrica (+W) e com deficiência hídrica (-W). Ao tratamento +W foi fornecido água em quantidade necessária para manter os vasos com conteúdo de água ideal para o desenvolvimento das plantas, enquanto no tratamento -W os vasos foram mantidos com 50% do teor de umidade ideal. As avaliações foram realizadas em duas épocas, 0 (E_1), e 75 (E_2) dias após o início dos tratamentos. Foram feitas associações e correlações entre os resultados, a fim de identificar qual(is) o(s) melhor(es) atributo(s) a ser(em) incorporado(s) no processo de seleção precoce de genótipos tolerantes à deficiência hídrica. Esses atributos funcionam como descritores morfológicos e/ou fisiológicos para essa tolerância à escassez hídrica e foram utilizados para cálculo da distância genética entre os genótipos e posterior

agrupamento dos mesmos pelo método de otimização de Tocher. As variáveis morfológicas e as variáveis fisiológicas foram eficientes em diferenciar cultivares tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica. As cultivares que apresentaram tolerância à seca na maioria das variáveis foram RB855035, CTC2, RB92579 e SP89-1115. Para a quantificação da distância genética, as variáveis: matéria seca da parte aérea, teor de clorofila e densidade estomática na face abaxial foram as principais determinantes. Os cruzamentos vistos como promissores, com objetivo de seleção genética para tolerância à seca e com alta probabilidade de gerar população com alto valor heterótico são: SP89-1115 e/ou CTC2, cruzadas com RB92579 e/ou RB855035.

Palavras chave: *Saccharum* spp, estresse hídrico, agrupamento genético, melhoramento.

MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENETIC GROUPING OF SUGAR CANE UNDER DROUGHT STRESS. BOTUCATU, 2014. 89p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção e Melhoramento Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GABRIELA ZAVANELLI GERONIMO

Adviser: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

2 SUMMARY

Some places of Brasil, where the culture of sugarcane expands, are characterized by periods of water restriction, and it is the main limiting factor to development of the crop in this area, so to develop new germplasm tolerant to drought become necessary. Identify appropriate tools for selection and quantifiable characteristics can facilitate the process of crop breeding for drought tolerance. The probability of obtaining new cultivar occurs with the crossing of parents with favorable agronomic characteristics and maximum genetic distance between them, to increase the possibility of obtaining progenies with excellent heterotic potential. In the present project, the ability of some morpho-physiological parameters was evaluated to distinguish between tolerant and susceptible 10 sugarcane genotypes. The experiment was installed in greenhouse conditions in pots in the city of Botucatu (SP). At 60 days after planting the treatments without water deficit (+W) and with water deficit (-W) started. To treatment +W water was provided in sufficient quantity to maintain them with water content for optimal plant growth, while the treatment -W was maintained with 50% moisture content ideal. Evaluations were performed in two periods, 0 (E₁), 75 (E₂) days after starting treatment. Associations and correlations was made between the results in order to identify which(s) best(s) attribute(s) to be incorporated in the process of early selection of tolerant genotypes to water stress. These attributes could be used as morphological and/or physiological markers of drought tolerance and were used to calculate the genetic distance among these genotypes and subsequent grouping them with the Tocher optimization method. The morphological variables height of stem, number of green leaves, leaf area and stomatal density on the abaxial surface and physiological variables chlorophyll content via spectrophotometer, stomatal conductance and SPAD index were effective in differentiating tolerant and susceptible cultivars to water deficit.

The cultivars showed tolerance to drought in most variables were RB855035, CTC2, SP80-1816, RB92579 and SP89-1115. To quantify the genetic distance, the variables of shoot dry matter, chlorophyll content and stomatal density on the abaxial surface were the main determinants. The crosses seen as promising, for the purpose of genetic selection for drought tolerance and value a high probability of generating population heterosis are: SP80-1816 and / or CTC2, crossed with RB92579 and / or RB855035.

Key words: *Saccharum* spp, sugarcane, drought stress, genetic grouping, breeding.

3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) está presente como cultura cultivada no Brasil desde a época do Brasil Colônia, e hoje ocupa ampla área de cultivo, no Brasil fica concentrada no Centro-Sul e Nordeste, representando grande importância social e econômica.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar do mundo, sendo que a área cultivada com cana-de-açúcar que foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 foi estimada em 8.810,79 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores conforme suas características. O estado de São Paulo permaneceu como o maior produtor com 51,66% (4.552.040 hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 9,29% (818.390 hectares), Minas Gerais com 8,85% (779.830 hectares), Paraná com 6,66% (586.400 hectares), Mato Grosso do Sul com 7,08% (624.110 hectares), Alagoas com 5,02% (442.590 hectares) e Pernambuco com 3,25% (286.030 hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3,0% (CONAB, 2013).

A área de cana-de-açúcar destinada à produção neste ano safra deve apresentar um crescimento de 3,80% ou 325,8 mil hectares em relação à safra passada; a produtividade atual apresentou aumento de 7,9% devido às boas condições climáticas deste ano safra em relação ao passado (CONAB, 2013).

Com exceção do estado do Paraná, as regiões de expansão da cana-de-açúcar são caracterizadas por inverno seco, com períodos de deficiência hídrica bastante

pronunciada e mais acentuada em comparação às regiões tradicionalmente ocupadas com a cultura.

Entre os diversos estresses abióticos, a deficiência hídrica é considerada como o principal limitador ambiental à produção de cana-de-açúcar (SILVA et al., 2008). A maneira mais econômica de contornar os problemas causados pela falta de água às lavouras é a utilização de genótipos tolerantes à deficiência hídrica. (SINGH; REDDY, 1980).

Podem ser identificados quatro estádios fenológicos em cana-de-açúcar, germinação, perfilhamento, grande crescimento e maturação. As fases de perfilhamento e grande crescimento, também conhecidas como fase de formação, têm sido identificadas como período crítico por demanda de água (RAMESH, 2000). Então, este é o período em que a deficiência hídrica pode causar maiores danos e assim, o momento ideal para instalação de ensaios para avaliação de genótipos tolerantes à seca em programas de melhoramento.

Pesquisadores têm se concentrado principalmente em estudos de variáveis morfológicas e fisiológicas, as quais podem levar à adaptação para essas condições ou serem correlacionadas com tolerância à seca e que poderiam ser usadas para o melhoramento e desenvolvimento de novos genótipos (DOMAINGUE, 1996).

De acordo com O'Neill et al. (2006), a diferenciação de genótipos tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica pode ser feita por técnicas que avaliem os efeitos morfo-fisiológicos provocados pelo estresse hídrico. Assim, a identificação de ferramentas que auxiliem na seleção precoce de genótipos tolerantes pode facilitar o processo de melhoramento da cultura.

Rodrigues et al. (2009) afirma que a tolerância à condição de seca é uma característica quantitativa multigênica. A seca é um estresse multidimensional, o qual causa vários efeitos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos nas plantas (JAMAUX et al., 1997).

Algumas variáveis morfológicas como altura, número de perfilhos, volume e matéria seca de raízes, área foliar e densidade estomática já foram avaliadas em

cana-de-açúcar para diferenciar genótipos tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica (WAGIH; KAIULO, 2001; JIFON et al., 2005, PINCELLI, 2010).

Variáveis fisiológicas também já foram estudadas quanto à sua relação com a deficiência hídrica, elas podem ser destrutivas ou não. Silva et al. (2007) já estudaram as variáveis não destrutivas como estimativa do conteúdo de clorofila (SPAD), máxima eficiência quântica do fotossistema II, condutância estomática e índice de área foliar, e as destrutivas conteúdo de clorofila (via espectrofotômetro), teor relativo de água na folha e potencial de água na folha. Todas tiveram correlação positiva com o regime de restrição hídrico.

Em cana-de-açúcar a maioria das cultivares hoje plantadas são híbridos provenientes dos programas de melhoramento brasileiros que usam preferencialmente as variedades nacionais como progenitores (BARBOSA, 2001).

Assim sendo, o uso generalizado de cultivares comerciais adaptadas ao sistema agrícola, na maioria das vezes oriundas de ancestrais muito próximos, com pequena distância genética entre si, pode levar ao estreitamento da base genética e ao fenômeno genético denominado vulnerabilidade genética (ALMEIDA et al., 2005).

Uma alta probabilidade de obtenção de uma nova cultivar ocorre quando se efetuam seleção e cruzamentos entre genitores que apresentam caracteres agronômicos favoráveis (PEDROZO et al., 2009). Assim, é de fundamental importância a avaliação da divergência genética entre os genitores envolvidos, para que por meio dos cruzamentos possa aumentar a possibilidade de geração de indivíduos com ótimo potencial heterótico (SUDRE et al., 2005).

Nesse contexto, o conhecimento da diversidade genética entre variedades comerciais em programas de melhoramento de plantas é de vital importância para os melhoristas na identificação e organização dos recursos genéticos disponíveis, visando a utilização destes na produção de novas variedades promissoras (PALOMINO et al., 2005).

Silva et al. (2007) afirmam que a estimativa de divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar vem sendo estudada visando a seleção de

progenitores para a formação de novos híbridos ou novas populações segregantes, provenientes de genótipos divergentes com características agronômicas superiores.

Os métodos de agrupamento têm por finalidade separar um grupo original de observações em vários subgrupos, de forma a se obter homogeneidade dentro e heterogeneidade entre os subgrupos (SNEATH; SOKAL, 1973), e podem ser divididos em hierárquicos e de otimização. Entre os métodos de otimização mais utilizados na área de melhoramento vegetal destaca-se o de Tocher.

Portanto, o objetivo do trabalho é a obtenção de características morfofisiológicas em resposta à condição de restrição hídrica entre 8 cultivares comerciais e 2 padrões, para diferenciação das cultivares entre tolerantes e susceptíveis através do uso da análise multivariada para cálculo de divergência genética como uma ferramenta útil na seleção de genótipos para tolerância à seca.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., é uma planta alógama, de ciclo semiperene e elevada rusticidade originária do sudeste Asiático, na região central da Nova Guiné e Indonésia (DANIELS; ROACH, 1987), onde existia no estado de planta silvestre ou ornamental. A primeira evidência da utilização do açúcar cristalizado, na forma sólida, como se conhece, parece ter sido de domínio Persa (DELGADO; CÉSAR, 1977).

Houve maior disseminação da cana-de-açúcar a partir do século VIII, pelo mar Mediterrâneo, devido às conquistas árabes no Ocidente (MOZAMBANI et al., 2006). Tempos depois, os portugueses e espanhóis introduziram a cultura nas ilhas das Canárias, Cabo Verde, Madeira, São Tomé e na África Ocidental (LANDELL et al., 2006). A cultura se desenvolveu no Brasil com a instalação de engenhos e cultivo das mudas trazidas pelos portugueses (MOZAMBANI et al., 2006).

A cana-de-açúcar apresenta ampla escala de adaptação sendo cultivada principalmente em regiões situadas entre os paralelos 35°N e 35°S, e no Brasil as variações climáticas possibilitam colheitas anuais de setembro a abril, no Norte- Nordeste e de maio a dezembro, no Centro-Sul (ALFONSI et al., 1987).

Atualmente, os plantios comerciais são constituídos por híbridos provenientes do cruzamento entre as espécies do gênero *Saccharum* spp., cuja variedade Crioula, resultado da hibridação natural entre *Saccharum officinarum* e *Saccharum barberi*, foi cultivada por aproximadamente 250 anos (LANDELL et al., 2006).

A cana-de-açúcar é considerada uma planta de metabolismo C4, apresenta a enzima PEPcarboxilase nas células do mesofilo foliar, o que aumenta a eficiência de fixação do CO₂ pela cultura, devido à alta afinidade pela enzima. A capacidade de assimilação hídrica pelas folhas é superior às outras gramíneas, de forma que o orvalho e os chuveiros, que não atingem o solo, também são absorvidos. No entanto, as raízes, através dos pelos absorventes, apresentam maior capacidade de absorção de água (SEGATO et al., 2006).

Entretanto, a restrição hídrica imposta à planta em determinado estágio de desenvolvimento pode comprometer sua produtividade, principalmente se o período de seca exceder a capacidade de tolerância da espécie vegetal (SMIT; SINGLES, 2006).

No Brasil, a cana-de-açúcar tem sido cultivada em escala comercial em todas as regiões, resultando em grande diversidade de condições edafoclimáticas, que ocasionam variabilidade na adaptação dos cultivares nas diversas regiões de cultivo (QUEIROZ, 2006).

4.2 Estresse por deficiência hídrica

Existem vários tipos de estresses ambientais. Em se tratando de disponibilidade hídrica, uma planta pode sofrer injúrias tanto pela falta quanto pelo excesso de água, porém como o estresse por deficiência hídrica é mais comum, o termo vem sendo utilizado abreviadamente como *estresse hídrico* ou *déficit hídrico*, podendo gerar conflitos na sua utilização (ANGELOCCI, 2002).

O termo estresse hídrico é geralmente definido como efeito não vantajoso de uma influência externa sobre a planta. Este conceito se relaciona com o de tolerância ao estresse, a aptidão que apresenta uma planta no enfrentamento de ambientes desfavoráveis. A expressão resistência ao estresse é frequentemente empregada como sinônimo de tolerância ao estresse, embora a última seja preferida (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Deficiência hídrica pode ser definida como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no

estado de maior hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2009); é um dos fatores de estresse que causa maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, acarretando em reduções na produtividade (PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

As diferentes espécies apresentam diferentes graus de tolerância à deficiência hídrica, o que pode ser observado no valor de potencial de água ideal para cada espécie, e ocorre mesmo dentro da espécie, entre as variedades ou cultivares. O estágio de desenvolvimento da planta também é fator crítico para o grau de tolerância à deficiência hídrica, podendo afetar diferentemente a produtividade agrícola (PIMENTEL, 2004; INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

De acordo com Taiz e Zeiger (2009), existem mecanismos de resistência ou tolerância à seca, como “retardo da dessecação” (*desiccation postponement* - capacidade de manter a hidratação); “tolerância à dessecação” (capacidade de manter o metabolismo enquanto desidratada) e “escape à seca” (capacidade de completar o ciclo antes do início da seca).

O mecanismo de “retardo da desidratação” deve-se à manutenção da turgescência e do volume celular por meio do fechamento estomático, pelo maior espessamento da cutícula da folha ou ainda pela maior absorção de água pelo sistema radicular mais abundante. O mecanismo de “tolerância à seca” permite à planta manter a atividade metabólica, mesmo com a diminuição do potencial hídrico dos tecidos, em decorrência de acúmulo de osmólitos ou solutos compatíveis e também à capacidade antioxidante da planta (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Se a tolerância a algum estresse ambiental aumenta como consequência de exposição anterior, a planta está aclimatada; e se ocorre a tolerância é devida à resistência genética adquirida por seleções durante várias gerações, a planta é considerada adaptada (TAIZ; ZEIGER, 2009). Tanto a adaptação como a aclimação resultam de situações que ocorrem nos níveis anatômico, morfológico, celular, bioquímico e molecular (BUENO et al., 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Um dos pré-requisitos para escolher a melhor variedade e as melhores práticas de manejo, visando aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais, é o conhecimento do modo que as plantas respondem aos estresses abióticos (SMIT; SINGELS, 2006). Rosenfeld (1989) verificou maiores reduções na produção quando o

déficit hídrico ocorre no estágio de maior desenvolvimento da cana-planta, em períodos secos durante o verão (veranicos) em plantas de cana-de-açúcar de 4 a 8 meses.

Nesta pesquisa foram estudadas algumas das alterações que podem ser observadas em cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica, como: mudanças na altura, número de folhas verdes, área foliar, altura do colmo, densidade e condutância estomática, no teor relativo de água, potencial hídrico foliar, na eficiência quântica do fotossistema II, no conteúdo de clorofila e no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes. Algumas destas alterações são consideradas mecanismos de tolerância à seca (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para amenizar os efeitos da falta de água no cultivo da cana-de-açúcar, a primeira opção seria o uso da irrigação (SANTOS, 2005), mas esta é pouco utilizada em virtude da pouca disponibilidade de água em algumas regiões ou países bem como do alto custo para a aquisição dos equipamentos. Neste caso, a seleção e o uso de genótipos tolerantes seria a melhor alternativa para atenuar o problema da escassez hídrica (SILVA et al., 2007).

Dentre as alternativas existentes para atenuar o efeito da escassez de água para produção de cana-de-açúcar, o uso de irrigação seria a primeira opção, porém é pouco utilizada nos países produtores (INMAN-BAMBER, 2004;), devido à pouca disponibilidade de água em algumas regiões, assim como a inviabilidade devido ao alto custo de aquisição dos equipamentos de irrigação (BOYER, 1996); Assim, a melhor alternativa para amenizar o problema da falta de água seria a seleção e uso de genótipos tolerantes à deficiência hídrica (SINGH; REDDY, 1980).

4.3 Respostas morfofisiológicas causadas pela deficiência hídrica

4.3.1 Limitação no crescimento, área foliar e crescimento de raízes

As plantas, quando submetidas à condição de deficiência hídrica, manifestam algumas modificações para prevenir ou tolerar a falta de água. O sistema

radicular é o primeiro que detecta o estresse hídrico e sinaliza às demais células e tecidos da planta.

A expansão foliar e o crescimento de raízes são os mais sensíveis à falta de água por serem dependentes da turgidez, e esta ser o efeito biofísico mais precoce resultante do estresse hídrico. A redução da área foliar também ocorre em resposta ao estresse hídrico. Uma menor área foliar transpira menos, conservando assim, suprimento adequado de água no solo por maior tempo (TAIZ; ZEIGER 2009).

O estresse hídrico afeta o desenvolvimento das raízes. Ocorre morte das raízes mais superficiais conforme avança o esgotamento de água da superfície do solo, concomitantemente o crescimento radicular continua em maior profundidade do solo, onde há maior umidade, o que exige realocação de fotoassimilados para as regiões de crescimento. Deste modo, maior absorção de água em decorrência do maior crescimento de raízes ocorre mais em plantas no estágio vegetativo quando comparadas àquelas em estágio reprodutivo, em decorrência da competição de fotoassimilados entre frutos e raízes (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O comportamento estomático responde ao déficit hídrico devido à emissão de sinais químicos pelas raízes. A sinalização de longa distância entre raízes e parte aérea é realizada pelo ácido abscísico (ABA), por alterações de pH e por redistribuição iônica (TAIZ; ZEIGER 2009). Em raízes de plantas de milho (*Zea mays*) crescidas em vasos com e sem restrição hídrica, foi observado que a desidratação parcial das raízes causou fechamento parcial os estômatos, tornando evidente que o fechamento estomático estaria relacionado mais com o conteúdo hídrico do solo do que com o da planta (DAVIES et al., 2002).

A deficiência hídrica na fase inicial afeta o rendimento da cana, reduzindo o tamanho das plantas em geral, e algumas variáveis como a produção de perfilhos, área foliar; número, altura e diâmetro de colmos industrializáveis; e o peso individual dos colmos (GONÇALVES, 2008).

Silva et al. (2008) classificam a variação de altura na planta como indicativo de tolerância ou susceptibilidade à deficiência hídrica. Em caso de baixo teor de água nos tecidos da planta, pode haver redução no comprimento de alguns entrenós, porém

esta redução pode ser recompensada pelo maior comprimento dos entrenós seguintes, havendo disponibilidade hídrica (CASTRO; KLUGE, 2001).

Esta característica morfológica observada com o período de estiagem é chamada de “encarretelamento” dos colmos, ou seja, a formação de nós e entrenós muito curtos e próximos entre si, diminuindo o volume do parênquima para armazenamento de sacarose (SEGATO et al., 2006).

A limitação da expansão das folhas e do aumento da área foliar também está relacionada à ocorrência de deficiência hídrica, que limita não apenas o tamanho das folhas, mas também a emissão de novas folhas (SCARPARI, 2007). Sendo que a expansão das folhas é mais sensível à falta de água do que o próprio alongamento dos colmos (INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

4.3.2 Densidade estomática

Os estômatos são aberturas na superfície foliar que possibilitam trocas gasosas e a transpiração, são constituídos por um par de células-guarda, pelo poro estomático e pelas células subsidiárias, que auxiliam no controle do grau de abertura estomática.

A resistência estomática, que é o inverso da condutância estomática, é regulada pela planta, de forma que a transpiração seja proporcional ao balanço de energia, sem que ocorra aquecimento excessivo da folha (LARCHER, 2000).

O café demonstra anatomia foliar plástica para fatores ambientais como alta radiação e baixa disponibilidade hídrica, alterando a morfologia da folha, inclusive as dimensões estomáticas (NASCIMENTO et al., 2006).

Grisi et al. (2008), trabalhando com mudas de café Catuaí e Siriema sob déficit hídrico, não verificaram alterações na anatomia foliar, porém verificaram alteração na densidade estomática, o que permitiu diferenciar as variedades em tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica.

Castro et al. (2009) afirmam que as condições ambientais como estresse hídrico podem alterar a densidade estomática bem como o tamanho dos estômatos. Em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, verifica-se redução no tamanho do poro estomático para assim reduzir a perda de água por transpiração, com simultâneo aumento da densidade estomática, para que aja equilíbrio das trocas gasosas com a atmosfera.

A densidade estomática de uma folha é inversamente proporcional à expansão das células da epiderme (MURPHY et al., 2012). Assim, quanto mais células da epiderme se expandir durante o crescimento da folha, menor será a densidade estomática.

Pincelli e Silva (2012) observaram aumento na densidade estomática na face abaxial de folhas das cultivares SP81 3250 e SP83 2847 quando submetidas à deficiência hídrica por 56 dias e perceberam que as cultivares respondem de modo diferenciado à condição de seca; sendo que nas cultivares tolerantes, a deficiência hídrica promove menos danos no número de folhas verdes e na área foliar, além de promover o aumento na densidade estomática.

Dependendo da espécie também ocorrem diferenças da epiderme abaxial para a adaxial em relação à densidade e diâmetro do poro estomático. Melo et al. (2007) perceberam que na epiderme abaxial de “paspalo” houve aumento na densidade estomática e redução nos diâmetros polar e equatorial dos estômatos; enquanto que na epiderme adaxial ocorreu aumento no diâmetro estomático, em condição de deficiência hídrica.

4.3.3 Assimilação líquida e condutância estomática

Uma das maneiras de constatar as respostas das plantas ao déficit hídrico é por meio de medições instantâneas de trocas gasosas entre planta e atmosfera, sendo que uma das primeiras respostas das plantas submetidas ao déficit hídrico é o fechamento estomático, o que limita a taxa de fixação de CO₂ e conseqüentemente, a produtividade da cultura.

Machado et al. (2009) verificaram que o déficit hídrico induziu decréscimo na condutância estomática para duas cultivares de cana-de-açúcar nas fases de Crescimento Inicial, Crescimento Máximo, e de Acúmulo de Sacarose. Esta é uma das primeiras estratégias da planta para impedir a desidratação excessiva e é uma resposta esperada em plantas sob deficiência hídrica (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Corroborando com esta ideia, Da Matta (2004) afirma que a queda na condutância estomática de plantas de café sob estresse hídrico é uma das maiores restrições para a produção do café, devido à redução na assimilação de CO₂.

Smit e Singels (2006) verificaram reduções nos valores de condutância estomática em duas variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica, concluindo que esta variável é mais sensível à queda de umidade do solo que o Potencial hídrico.

Em condições de estresse hídrico as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de forma distinta, de acordo com a espécie, tanto por limitações difusivas, restringindo a disponibilidade de dióxido de carbono para assimilação, quanto por limitações metabólicas, pelo aumento do efeito fotoinibitório (GONÇALVES et al., 2010).

Holanda (2012) encontraram diferenças significativas para a variável condutância estomática, trabalhando com variedades de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica.

4.3.4 Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b*

A fotossíntese é realizada nos cloroplastos, onde ficam as clorofilas, pigmentos fotossintéticos que garantem às plantas a capacidade de absorver a energia luminosa para originar ATP e NADPH durante o processo fotossintético (ARUNYANARK et al., 2008). Os cloroplastos contêm além das clorofilas, outros pigmentos chamados de acessórios, como os carotenóides (TAIZ; ZEIGER, 2009).

As clorofilas são degradadas facilmente devido à sua estrutura química instável, originando desta decomposição, produtos que alteram a percepção e qualidade dos vegetais (GONÇALVES, 2008).

As moléculas de clorofila são formadas por complexos derivados das porfirinas e tem o Mg como átomo central. Existem diversos fatores que alteram a biossíntese das clorofilas como luz, temperatura, pH, deficiência hídrica, produção de ABA e etileno e alterações enzimáticas, alterando sobremaneira o conteúdo foliar de clorofila (BATAGIN, 2008).

Em decorrência da absorção dos fótons, as moléculas de clorofila passam de um estado basal para outro excitado, com maior nível de energia, muito instável. Tais pigmentos podem dissipar o excesso de energia absorvida da luz de quatro formas: *dissipação fotoquímica* (utilizada na fotossíntese), *fluorescência* (emissão na forma de luz), *conversão direta de energia* (retorno ao estado base sem emissão de fótons) e *dissipação não-fotoquímica* (reemissão na forma de calor) (TAIZ; ZEIGER, 2009; CAMPOSTRINI, 2010).

O estresse por deficiência hídrica pode ser responsável pela degradação de pigmentos nas folhas, o que prejudica o ciclo vital dos vegetais, além de prejudicar o processo fotossintético. Diminuição na concentração de clorofila também pode ser atribuído ao aumento na atividade da enzima clorofilase, a qual degrada a clorofila. Lima et al. (2004) afirmam que em períodos de baixa umidade no solo, os conteúdos de clorofila são drasticamente afetados. Assim, tais pigmentos podem ser utilizados como parâmetro indicativo de estresse hídrico na planta (DUCRUET, 2003; CARLIN, 2009).

O medidor portátil de clorofila SPAD-502 permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la, fazendo com que tal método seja caracterizado pela simplicidade e rapidez (ARGENTA et al., 2001). Existem também, métodos destrutivos citados na literatura como eficientes. Os métodos de quantificação e estimativa do conteúdo de clorofila também podem ser utilizados como ferramentas para auxiliar a seleção para tolerância à seca.

4.3.5 Eficiência quântica do fotossistema II

Os fotossistemas I e II, presentes nas membranas dos tilacóides, são responsáveis por captar e converter a energia luminosa (fótons) em energia química (ATP e NADPH), o que requer água para o bom funcionamento do processo (TAIZ; ZEIGER, 2009). Em situação de estresse hídrico, pode haver alterações nas trocas gasosas, dependendo da espécie, devido às limitações difusivas (restringindo a assimilação de CO₂) e metabólicas (aumento do efeito fotoinibitório) (GLAZ et al., 2004).

Campostrini (2010) apresenta que a técnica do rendimento quântico do fotossistema II seria ferramenta ideal em estudos relacionados aos efeitos dos fatores ambientais na fisiologia das plantas, podendo ser indicativo de comprometimento no aparato fotossintético. Graça (2009) verificou que na comparação de diferentes cultivares de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, houve redução na eficiência quântica do fotossistema II para a cv CTC15 nos 13º e 14º dias de aplicação de deficiência hídrica e para a cv SP86 155 no 12º e 14º dias.

Para a medição da fluorescência da clorofila *a* utiliza-se: Fluorescência mínima (F_0), quando todos os centros de reação estão abertos; Fluorescência máxima (F_m), quando todos os centros de reação estão fechados e Fluorescência variável (F_v), determinada pelo grau de abertura dos centros de reação, e é definida como a diferença entre F_m e F_0 , ou seja, $F_v = F_m - F_0$, e o rendimento quântico máximo do PSII é F_v/F_m (MAXWELL; JOHNSON, 2000). O F_0 se refere à fluorescência emitida pelas moléculas de clorofila *a* do PSII. O F_m refere-se à total redução da quinona A após o centro de reação QA receber a incidência de um pulso de luz, o que gera a fluorescência máxima. F_v indica a geração do fluxo de elétrons desde o centro de reação do PSII até a plastoquinona.

Então, a análise do rendimento quântico do fotossistema II, obtido por meio da fluorescência da clorofila *a*, pode mostrar o nível de excitação dos pigmentos fotossintetizantes. Assim, a habilidade de manter elevada razão F_v/F_m em situação de deficiência hídrica pode ser um indicativo de eficiência no uso da radiação pela fase fotoquímica da fotossíntese e conseqüentemente de elevada taxa de assimilação de carbono (TESTER; BACIC, 2005; SILVA et al., 2007; GRAÇA, 2009).

4.3.6 Conteúdo relativo de água na folha (CRA)

O conteúdo hídrico da planta está diretamente relacionado com o controle das funções fisiológicas e as alterações no CRA afetam o aparato fotossintético, interferindo na taxa de assimilação de CO₂. Brestic et al. (1995), estudando plantas de *Phaseolus vulgaris*, observaram que ocorreu redução entre 10 a 20% no CRA depois de 15 dias sob deficiência hídrica, e redução considerável na taxa de assimilação de CO₂ e na condutância estomática.

Colom e Vazzana (2003) quando estudaram o CRA e a taxa fotossintética de cultivares da gramínea *Eragrostis curvula*, constataram que a cultivar tolerante apresentou maior atividade fotossintética em comparação à cultivar sensível, quando submetidas ao déficit hídrico. Não é incomum observar que redução de aproximadamente 25% no CRA ocasiona repressão em todo o aparato fotossintético (AZEVEDO NETO et al., 2004; SMIT; SINGELS, 2006).

Graça (2009) observou variação no CRA entre as cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica, onde a cv CTC15 manteve maior CRA em quase todas as avaliações, sendo que na média houve redução do CRA para 60% em torno do 10º dia sob déficit hídrico para as cv SP83 2847 e cv SP 86 155 e para 70% para a cv CTC15. Schlemmer et al. (2005), em estudo com plantas de *Zea mays*, observaram que apenas três dias de deficiência hídrica foram suficientes para reduzir o CRA para 65%.

4.3.7 Potencial de água na folha (Ψ_w)

A redução da disponibilidade hídrica no solo diminui o potencial de água na folha, o que leva à perda de turgescência e ao fechamento estomático, sendo que estas respostas são diferentes entre espécies (MANSUR; BARBOSA, 2000; TAVARES, 2009).

Os gradientes de Ψ_w explicam o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera. Embora haja variação ao decorrer do dia, esta variável descreve o estado de hidratação da planta e é muito utilizada nos estudos das relações hídricas dos vegetais. O valor do Ψ_w indica a diferença entre o estado energético da planta em determinado

sistema e no estado de referência, sendo que neste último, o potencial de água é considerado zero (BERGONCI et al., 2000).

Da Matta et al. (2007) dizem que valores de até $-1,5\text{MPa}$ de potencial hídrico foliar parece não afetar a eficiência fotossintética de cafeeiros em condições de campo. Já Castro et al. (2009) observaram maior espessura na cutícula em ambas as faces da epiderme de folhas de cafeeiro, sendo que a cutícula, de natureza lipídica, evita a perda excessiva de água por transpiração, funcionando como mecanismo de tolerância à deficiência hídrica e evitando assim reduções significativas no potencial hídrico foliar das folhas em estudo.

Lopes (2008) verificou grande influência da disponibilidade hídrica para a regulação do grau de abertura estomática e do potencial hídrico foliar em mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla* manejadas com deficiência hídrica.

4.4 Medida de dissimilaridade e agrupamento genético

A alta probabilidade de obtenção de uma nova cultivar se dá quando se efetuam seleção e cruzamentos entre genitores que apresentam caracteres agronômicos favoráveis (PEDROZO et al., 2009). Nesse contexto, é fundamental avaliar a divergência genética entre os genitores envolvidos, para que através dos cruzamentos realizados aumente-se a possibilidade de obtenção de indivíduos com excelente potencial heterótico (SUDRE et al., 2005).

De acordo com Shimoya et al. (2002), a divergência genética pode ser quantificada através de métodos preditivos que levam em consideração caracteres agronômicos, fisiológicos, morfológicos e moleculares. Entre as medidas de dissimilaridade mais utilizadas nos estudos de divergência genética está a distância generalizada de Mahalanobis. Esta leva em consideração as variâncias e covariâncias residuais que existem entre as características mensuradas, possíveis de serem quantificadas, quando os genótipos são avaliados em experimentos conduzidos em delineamentos experimentais adequados (AMORIM et al., 2007).

Ao utilizar medidas de dissimilaridade, o número de estimativas obtidas é muito grande, tornando impraticável o reconhecimento de grupos homogêneos pelo simples exame visual destas estimativas. Por este motivo, o melhorista utiliza os métodos de agrupamento ou de projeções de distâncias em gráficos bidimensionais, tomando por base as coordenadas obtidas a partir da medida de dissimilaridade escolhida (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

No método de otimização de Tocher adota-se o critério de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos (CRUZ, 2005).

Segundo Carpentieri-Pípulo et al. (2000), a identificação de genótipos com base somente na divergência sem considerar o seu desempenho pode não ser uma boa alternativa, sendo recomendado o uso de indivíduos divergentes com características agronômicas importantes. Sendo assim, Silva et al. (2011) recomendaram o cruzamento biparental dos clones de cana-de-açúcar RB992542 e RB992558 com a variedade SP79-1011; e do clone RB992558 com a variedade RB92579, por serem os mais divergentes e os mais produtivos.

Silva et al. (2007) retratam que para a cana-de-açúcar, a estimativa da divergência genética entre diferentes genótipos vem sendo estudada, visando a seleção de genitores para formação de híbridos ou mesmo a formação de novas populações segregantes, oriundas do intercruzamento de genótipos divergentes com características agronômicas superiores.

Silva (2005) utilizou técnicas multivariadas para avaliar a divergência genética em 129 clones de cana-de-açúcar em experimento conduzido em Paranavaí (PR) e observou, pelo método de Tocher, a formação de 7 grupos em que o primeiro foi constituído por 108 clones representando 83,72% dos que foram estudados. Do grupo 2 ao 7 representou respectivamente 6,97%; 2,32%; 2,32%; 3,10%; 0,77% e 0,77% dos que foram avaliados.

Acima de 10%, os coeficientes de variação genética são considerados altos de acordo com Oliveira et al. (2008). Em contrapartida, Dutra Filho et al. (2011) encontraram valores de coeficiente de variação genética maiores que 30%, mantendo a probabilidade de sucesso nos cruzamentos entre as progênies avaliadas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro e julho de 2012, em casa de vegetação no departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, campus do Lageado, localizada na cidade de Botucatu, SP (22°51'01" Latitude Sul e 48°25'55" Longitude Oeste e Altitude 800,1m).

Foram utilizados vasos de 22 litros com substrato Plantmax (produto estéril feito de vermiculita expandida e matéria orgânica, com macro e micronutrientes) juntamente com 55g do formulado 8-28-16 (NPK), para plantio de três minitoletes de cada cultivar em cada vaso. Após a emergência das plântulas houve desbaste para manutenção de apenas uma planta por vaso e foi mantido apenas o perfilho primário de cada planta com o objetivo de eliminar efeitos varietais de perfilhamento e ocupação desigual dos vasos.

5.2 Material vegetal

No experimento foram utilizadas dez cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), sendo duas utilizadas como padrão de susceptibilidade IAC91-2195 e tolerância à deficiência hídrica IAC91-5155 (Tabela 1). Os toletes obtidos para brotação das gemas eram de mesma idade e bom aspecto sanitário.

Foi feito o sorteio para a numeração das cultivares, com codificação de 1 a 10, este procedimento foi feito para evitar qualquer tipo influência por parte do pesquisador, no momento da avaliação.

Tabela 1. Relação das cultivares de cana-de-açúcar

Número de referência	Cultivar
1	SP91-1049
2	RB845210
3	RB855035
4	SP89-1115
5	SP80-1816
6	RB92579
7	IAC91-5155**
8	IACSP94-4004
9	CTC2
10	IAC91-2195*

*Padrão de susceptibilidade; **Padrão de tolerância à deficiência hídrica

5.3 Tratamentos, delineamento estatístico e análise dos dados

Foi utilizado delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema fatorial 10 x 2, com os tratamentos -W (com deficiência hídrica) e +W (sem deficiência hídrica) e 10 genótipos comerciais de cana-de-açúcar, com quatro repetições.

Do plantio até 74 dias após o plantio (DAP) todos os vasos receberam água na mesma quantidade; aos 75 DAP iniciaram-se os tratamentos: sem deficiência hídrica (+W) e com deficiência hídrica (-W). No tratamento +W as plantas foram hidratadas com quantidade certa para manter o teor de umidade no substrato em torno de 22% (100% da capacidade de campo), ideal para o desenvolvimento das plantas, já no tratamento -W os vasos foram mantidos com 50% da umidade que corresponde à capacidade de campo. O monitoramento da umidade dos vasos foi realizado 3 vezes ao dia por meio do medidor ECH₂O (Decagon, Washington, USA) por ser um equipamento

eficiente para a tarefa (PARSONS; BANDARANAYAKE, 2009). Para a qual foram inseridos sensores dielétricos Echo Check (Decagon, Washington, USA) de 10 cm de comprimento na quantidade de um por vaso.

Foi usado o tratamento estatístico das características individuais para análise dos resultados, o teste F para análise da variância das médias, e a medida de dissimilaridade genética com agrupamento por otimização de Tocher, por meio do aplicativo genético estatístico Genes.

5.4 Avaliações morfológicas e fisiológicas

As avaliações foram realizadas em duas épocas, aos 0 e 75 dias após o início dos tratamentos (DAT), ou seja, quando as plantas estavam com 75 e 150 dias de idade. Apenas as variáveis matéria seca de raízes e matéria seca da parte aérea foram verificadas em uma única data, aos 75 DAT (150 dias de idade).

A primeira folha totalmente expandida com lígula aparente (+1) foi utilizada para todas as avaliações, com exceção da área foliar e densidade estomática, para as quais foi utilizada a terceira folha totalmente expandida (+3). As avaliações não destrutivas foram feitas inicialmente, seguidas pelas destrutivas.

Para cada variável serão atribuídas notas de 0 a 2 indicando o grau de tolerância à seca daquela variável em si, no qual 0 (sem tolerância), 1 (tolerância intermediária) e 2 (muito tolerante). Nos resultados será apresentada uma tabela com a nota de todas as variáveis e outra com a somatória destes valores, indicando assim, as cultivares mais tolerantes levando em consideração todas as variáveis estudadas.

5.4.1 Variáveis morfológicas

5.4.1.1 Altura de colmo

Para determinação da altura dos colmos utilizou-se de uma fita métrica e a medida foi feita do solo até a altura da bainha da folha +1, nas duas épocas de avaliação (0 e 75 DAT).

5.4.1.2 Número de folhas verdes

Em cada avaliação, procedeu-se a contagem das folhas verdes, para tanto, considerou-se como folhas verdes, aquelas totalmente expandidas com pelo menos 20% de área foliar verde, a partir da folha +1.

5.4.1.3 Área foliar

Para cálculo da área foliar foram feitas medições do diâmetro e comprimento do limbo foliar na parte mediana da folha +3, utilizando para isso régua e fita métrica; e foi utilizada a metodologia de Hermann e Câmara (1999), na qual, C é o comprimento da folha +3 e L sua largura, o fator de correção da cultura é 0,75 e N o número de folhas abertas com ao menos 20% de área verde.

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N+2)$$

5.4.1.4 Densidade de estômatos

Para a contagem de estômatos foi utilizada a metodologia proposta por Mazumdar et al. (1969). A folha +1 de cada planta foi cortada e transportada ao laboratório em caixa térmica com gelo. Utilizou-se fina camada de esmalte incolor de 4 cm de comprimento e fita adesiva transparente para coletar duas amostras de impressão de estômatos na face abaxial e mais duas na face adaxial, sempre paralelas à nervura central das folhas. Então, a fita adesiva com a impressão dos estômatos foi colocada em lâmina milimetrada do tipo “Câmara de Neubauer”, e a contagem realizada em área de 0,25mm² no microscópio óptico (Nikon – Eclipse E200, Shanghai, China), utilizando para isso a objetiva de 10X de aumento.

5.4.2 Variáveis Fisiológicas

5.4.2.1 Estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD (CE)

Para a estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD, utilizou-se um clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA), na quantidade de três leituras por planta na folha +1. O valor da leitura da unidade SPAD indica o teor de pigmento na folha e é equivalente à quantidade de luz transmitida pela folha em duas faixas de comprimento de onda, nas quais a absorção pela clorofila é diferente (MALAVOLTA et al., 1997). Neste caso, o valor é proporcional à quantidade de clorofila presente na folha.

5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m)

Para a determinação da máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), as folhas +1 foram pré-escurecidas por exatamente 30 minutos utilizando cliques específicos, antes da medição com o fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, EUA). Após a leitura, a variável F_v/F_m é determinada de acordo com a metodologia de Maxwell e Johnson (2000), na qual F_m é a máxima intensidade da fluorescência em que todas as reações do fotossistema II (FSII) se fecham; F_0 é a mínima intensidade de fluorescência, quando os centros de reações do FSII estão abertos, e F_v é a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$). As leituras foram realizadas entre as 7 e 9 horas da manhã, pois é o momento ideal para esta avaliação, no qual os estômatos estão abertos e ocorrendo máxima fotossíntese líquida.

5.4.2.3 Condutância estomática (g_s)

A condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi determinada com o uso do IRGA (Infra-Red Gas Analyser), modelo Li-6400XTR da marca Licor (NE, EUA). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1, e determinadas pela manhã, entre as 7 e 9 horas da manhã. O Valor da Condutância (g_s) foi calculada pelo programa de análise de dados do equipamento medidor de trocas gasosas, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981).

5.4.2.4 Conteúdo de clorofila via espectrofotômetro

Para a determinação do CC (conteúdo de clorofila), utilizou-se de dois discos foliares (0,69 cm² cada), amostrados com auxílio de um furador entre a borda e a nervura central da folha +1. Para tal, foi utilizada a metodologia de Porra et al. (1989), a qual consiste na extração da clorofila com ácido dimetilformamida (DMF) e a solução foi protegida da luz por um período de 24h, quando procedeu-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 480, 647 e 664 nm; em 1mL de extrato de clorofila diluído em 1mL de água deionizada.

5.4.2.5 Conteúdo relativo de água na folha (CRA)

Dois discos foliares foram extraídos da mesma folha +1 para a determinação da massa do tecido fresco (Wf) em balança analítica, após a medição, os discos são mantidos em recipiente de vidro com água deionizada por 24h para ocorrer a reidratação, neste momento foi feita a segunda pesagem na balança analítica, retirando o excesso de água com toalha de papel, obtendo massa do tecido túrgido (Wt). A massa do tecido seco (Wd) foi obtida após a secagem dos discos foliares em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, por 48 horas. A metodologia de Jamaux et al. (1997) foi usada para o cálculo do CRA.

$$CRA = [(Wf - Wd) / (Wt - Wd)] \times 100$$

5.4.2.6 Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

A leitura do potencial hídrico foliar é realizada na extremidade da folha +1, as quais foram devidamente coletadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados e transportados em caixas térmicas com gelo da casa de vegetação ao laboratório, evitando assim a perda de umidade, utilizando para tal, a câmara de pressão de Sholander (SoilMoisture Equipment, Santa Bárbara CA, EUA). A leitura do Ψ_w foi feita no período mais quente do dia, da 10 às 14h, pois é o horário mais quente do dia, em que o sol está a pino e assim observam-se os menores valores de potencial hídrico foliar.

5.4.2.7 Taxa de Assimilação de CO₂ (A)

A variável taxa de assimilação de CO₂ ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtida por meio do IRGA (Infra-Red Gas Analyser), de modelo Li-6400XTR da marca Licor (NE, EUA). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1, e determinadas pela manhã, entre as 7 e 9 horas da manhã. O taxa de assimilação de CO₂ (A) foi calculada pelo programa de análise de dados do equipamento medidor de trocas gasosas, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981).

5.4.3 Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes

Aos 150 DAP, segunda avaliação, foram feitas as medidas da massa seca da parte aérea e das raízes. Para isso, as plantas foram retiradas dos vasos, separadas em parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas em água corrente após serem peneiradas. Tanto parte aérea como raízes foram acondicionadas em estufas de circulação forçada de ar a 70°C até massa constante. Por meio de balança de precisão determinou-se a massa da matéria seca.

5.4.4 Dissimilaridade genética e agrupamento por otimização de Tocher

A divergência genética entre as cultivares foi calculada utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade, sendo obtida pela expressão:

$$D_{ii}^2 = \delta' \Psi^{-1} \delta$$

Na qual: D_{ii}^2 é a distancia de Mahalanobis entre os genótipos i e i' ; Ψ : matriz de variâncias e covariâncias residuais (dimensão 10) (CRUZ; CARNEIRO, 2006); $\delta = [d_1 \ d_2 \ d_3 \ \dots \ d_v]$, onde: $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$; d_v = diferença entre médias de dois genótipos i e i' , para uma dada característica j ; e Y_{ij} : é a média do i -ésimo genótipo em relação a j -ésima variável.

Como técnica de agrupamento empregou-se o método de otimização de Tocher (RAO, 1952). As análises genético-estatísticas foram processadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Variáveis morfológicas

6.1.1 Altura do colmo

Para a variável altura do colmo verifica-se que os fatores variedade, regime hídrico bem como a interação variedade x regime hídrico foram significativos ao nível de 1% ($P < 0,01$) de probabilidade (Tabela 1), aos 75 dias após o início dos tratamentos (DAT). Sendo que na avaliação feita em 0 DAT, essa variável apresentou diferença estatística somente para cultivares, evidenciando que, naquele momento, esses tratamentos estavam sob influência apenas das diferenças genotípicas de cultivar.

Tabela 2. Análise de variância para a variável altura do colmo em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	10,808**	22,962**
Regime Hídrico	1	2,435	383,742**
Repetição	3	2,736	3,587
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,705	3,305**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		14,03%	8,49%

** : significativo ($P < 0,01$)

Com o avanço dos dias, na segunda época de avaliação, aos 75 DAT, todas as cultivares apresentaram aumento na altura do colmo no tratamento sem restrição hídrica (+W), apresentando apenas a diferença inerente à característica varietal de cada uma. Neste mesmo período, as plantas que receberam o tratamento com restrição hídrica (-W), apresentaram aumento na altura do colmo em relação à época anterior, porém em menor proporção quando comparadas com aquelas do tratamento sem restrição hídrica (Figura 1). Dentre as plantas do tratamento com deficiência hídrica, as que apresentaram maiores alturas do colmo foram as SP91-1049, CTC2, IAC91-5155 e SP80-1816 em ordem decrescente de altura.

Gonçalves (2008) também avaliou cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica e do mesmo modo encontrou diferentes respostas para altura do colmo dos quatro genótipos avaliados. Silva (2008) defende que a altura do colmo é um indicativo de tolerância à deficiência hídrica em cana-de-açúcar.

O déficit hídrico provocou redução no crescimento da altura dos colmos de todas as variedades, do mesmo modo que observaram Silva e Costa (2004). Um dos processos fisiológicos mais sensíveis à deficiência hídrica é o crescimento celular que interfere no crescimento das plantas (LARCHER, 2000); por este motivo a redução do crescimento é considerada a primeira e mais séria consequência da restrição hídrica nos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com Inman-Bamber e Smith (2005), é maior a susceptibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos; fato que pode causar grande prejuízo na produção de fitomassa e no acúmulo de sacarose (ROBERTSON et al., 1999). Corroborando com Silva e Costa (2004) que encontraram correlação significativa e positiva de altura de colmo com produção de colmos de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica ou em regime hídrico adequado.

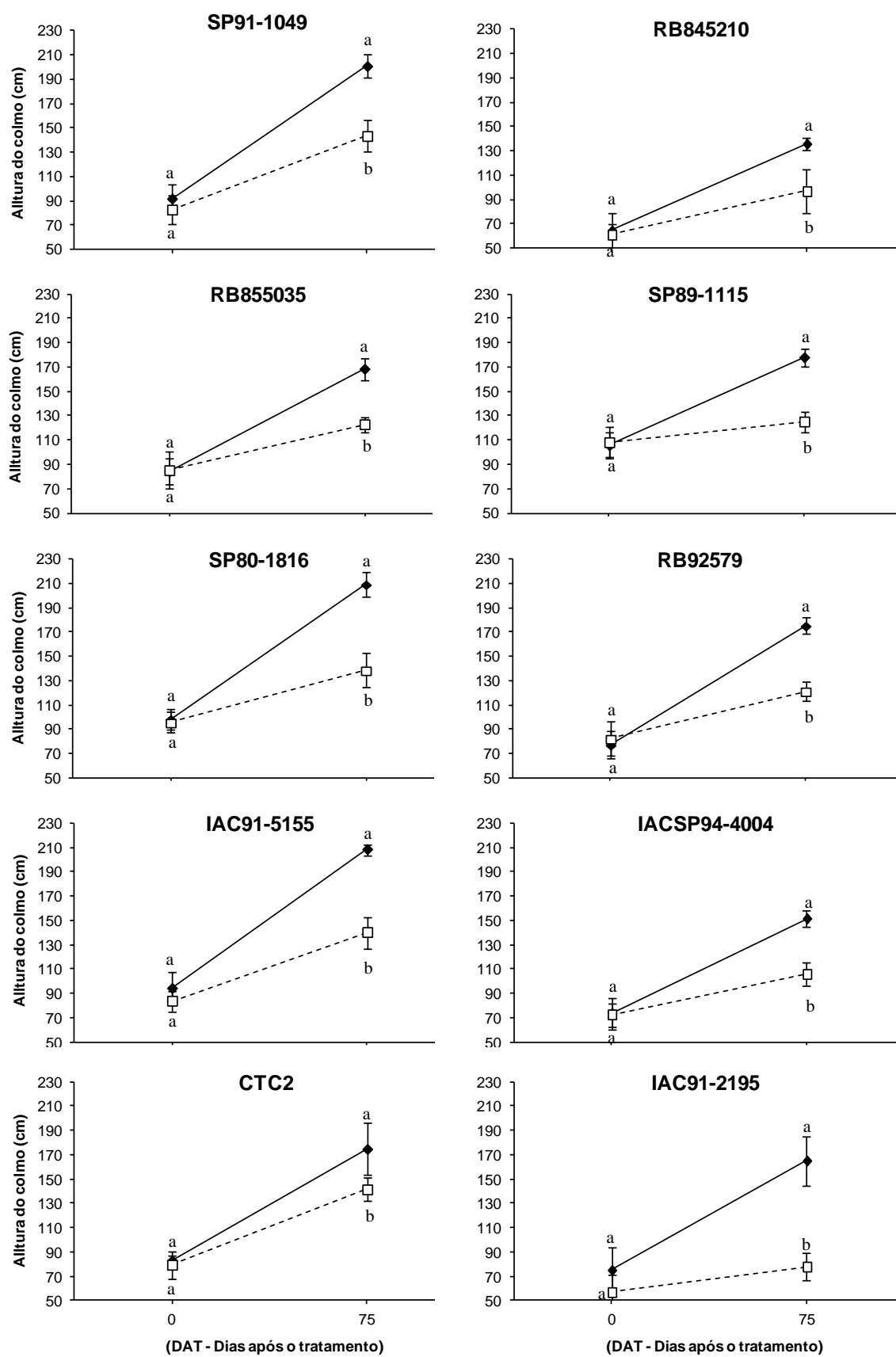


Figura 1. Altura do colmo (cm) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Tabela 3. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Altura do colmo. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variáveis	NFV
SP91-1049	0
RB845210	0
RB855035	1
SP89-1115	1
SP80-1816	0
RB92579	1
IAC915155	1
IACSP94-4004	2
CTC2	2
IAC912195	2

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

6.1.2 Número de folhas verdes

De acordo com a análise de variância, foram verificados valores significativos de F apenas para cultivares e regimes hídricos aos 75 DAT, e apenas para cultivares em 0 DAT, como era esperado devido à igualdade do regime hídrico até a data citada (Tabela 3).

Tabela 4. Análise de variância para a variável número de folhas verdes em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	4,316**	9,329**
Regime Hídrico	1	0,166	169,326**
Repetição	3	0,56	2,144
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,33	1,889
Erro	57		
Total	79		
Coeficiente de Variação		11,45%	15,90%

** : significativo (P<0,01)

A deficiência hídrica 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 (SMIT; SINGELS, 2006).

Todos os genótipos avaliados apresentaram redução significativa na quantidade de folhas verdes (FV) em decorrência da deficiência hídrica, no entanto as cultivares que apresentaram maior número de FV no total foram IACSP94-4004, IAC91-2195, IAC91-5155 e RB92579. As cultivares com menor redução do número de folhas verdes, em comparação com o grupo controle (plantas bem hidratadas), foram RB855035, SP89-1115 e IAC91-2195 (Figura 2).

Smit e Singels (2006) afirmam que a senescência foliar ocorre após redução no surgimento de folhas, responde ao déficit hídrico e é dependente do genótipo. A redução no número de folhas verdes tem sido observada em plantas com restrição hídrica (Inman-Bamber, 2004) e atribuída como estratégia de redução do gasto metabólico e da superfície transpirante (Inman-Bamber et al., 2008).

De acordo com Carlesso (1993) a senescência seria uma ocorrência comum na cultura próximo à fase de maturação; podendo ocorrer, no entanto, na fase de crescimento e desenvolvimento em situação de deficiência hídrica severa.

As plantas de cana-de-açúcar submetidas ao tratamento com suprimento hídrico adequado apresentaram em média de 7 a 11 folhas verdes por colmo, e as do tratamento com deficiência hídrica, de 3 a 6 folhas verdes por colmo (Figura 2). Valores esses próximos aos encontrados por Suguitani (2006), de 5 a 9 folhas verdes por colmo na média entre tratamentos com e sem deficiência hídrica. Machado et al. (1981) também encontraram resultado semelhante, com intervalo entre 8 a 10 folhas verdes por colmo em plantas de cana-de-açúcar bem hidratadas.

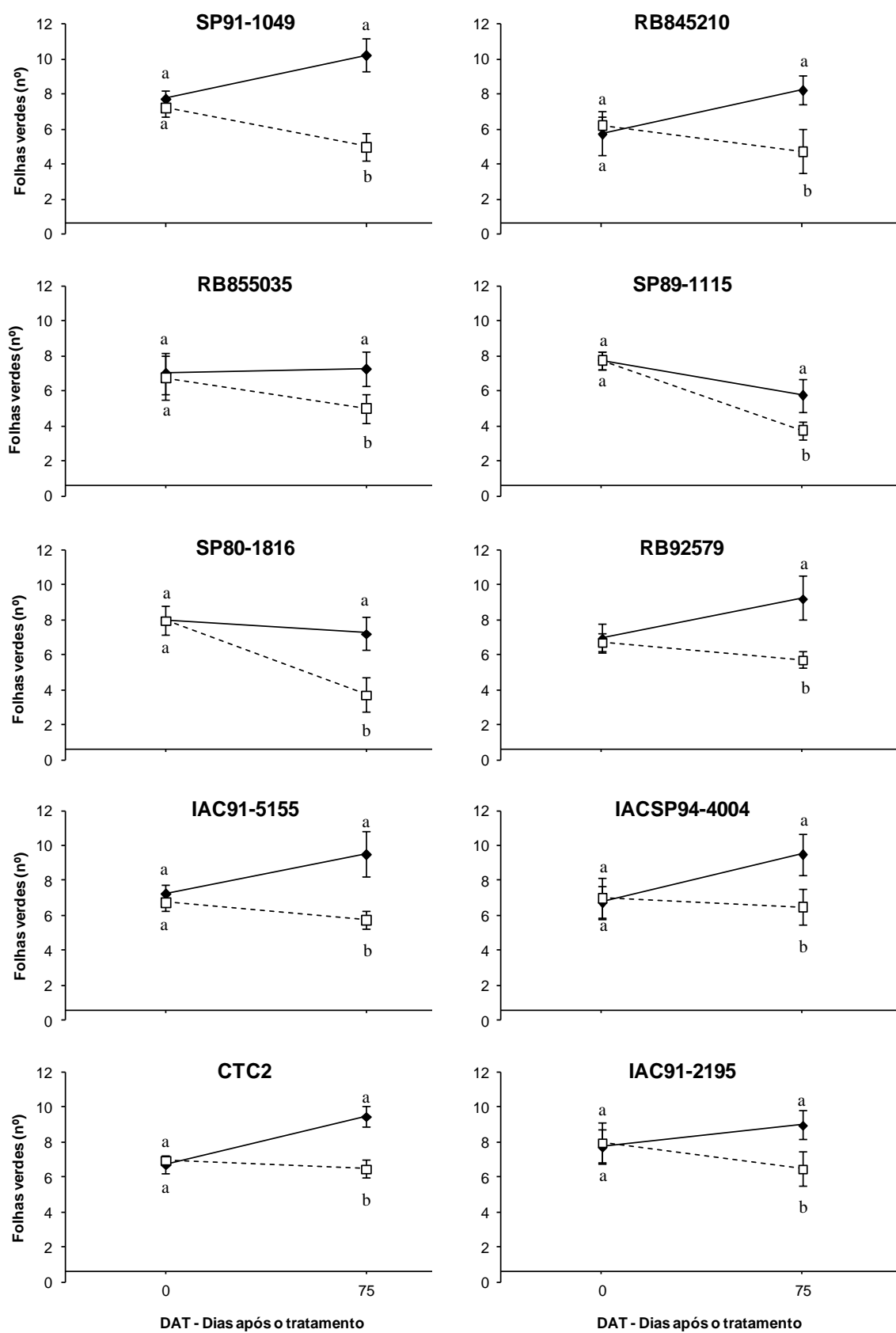


Figura 2 Número de folhas verdes de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Tabela 5. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Número de folhas verdes. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variáveis	NFV
SP91-1049	0
RB845210	0
RB855035	1
SP89-1115	1
SP80-1816	0
RB92579	1
IAC915155	1
IACSP94-4004	2
CTC2	2
IAC912195	2

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

A senescência ocorre também porque o solo seco não pode fornecer nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura e o nitrogênio do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento; entretanto, a intensidade da senescência depende da quantidade de nitrogênio no solo, das reservas de nitrogênio na planta e da demanda de nitrogênio dos pontos de crescimento (WOLFE et al., 1988).

6.1.3 Área foliar

Em relação à variável área foliar, houve diferença estatística significativa ao nível de 1% ($P < 0,01$) de probabilidade para cultivares em 0 e 75 DAT; diferença significativa ao nível de 1% ($P < 0,01$) para regime hídrico e para a interação cultivares x regime hídrico, diferença estatística ao nível de 5% ($P < 0,05$), aos 75 DAT (Tabela 4).

Todos os genótipos tiveram redução importante na área foliar, porém os que mantiveram maiores valores dessa variável dentro do tratamento com restrição hídrica foram SP91-1049, SP89-1115, SP80-1816 e CTC2; e os que apresentaram

menor redução percentual de área foliar, em comparação ao grupo controle, foram SP89-1115, CTC2 e SP80-1816, com reduções de 27, 28 e 37%, respectivamente (Figura 3).

Tabela 6. Análise de variância para a variável área foliar em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	50,601**	8,564**
Regime Hídrico	1	0,162	206,24**
Repetição	3	1,21	0,707
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,145	2,471*
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		14,98%	17,60%

*: significativo ($P>0,05$); **: significativo ($P<0,01$)

Segundo Machado (1987), ocorre aumento da área foliar individual primeiramente em função do aumento no comprimento da folha e posteriormente no aumento da largura da folha. Fato que ocorre porque no início de estabelecimento da cultura, a planta visa ocupar a linha e entrelinha e, logo após, otimizar a ocupação entre os perfilhos.

Vários autores relatam que ocorre aumento na área foliar da cultura do plantio até o final do período de perfilhamento e estabelecimento da cultura, sendo este aumento sempre acompanhado por maior consumo de água, e havendo redução na área foliar da cultura após o fechamento do dossel (MUCHOW et al., 1994; SUGUITANI, 2001).

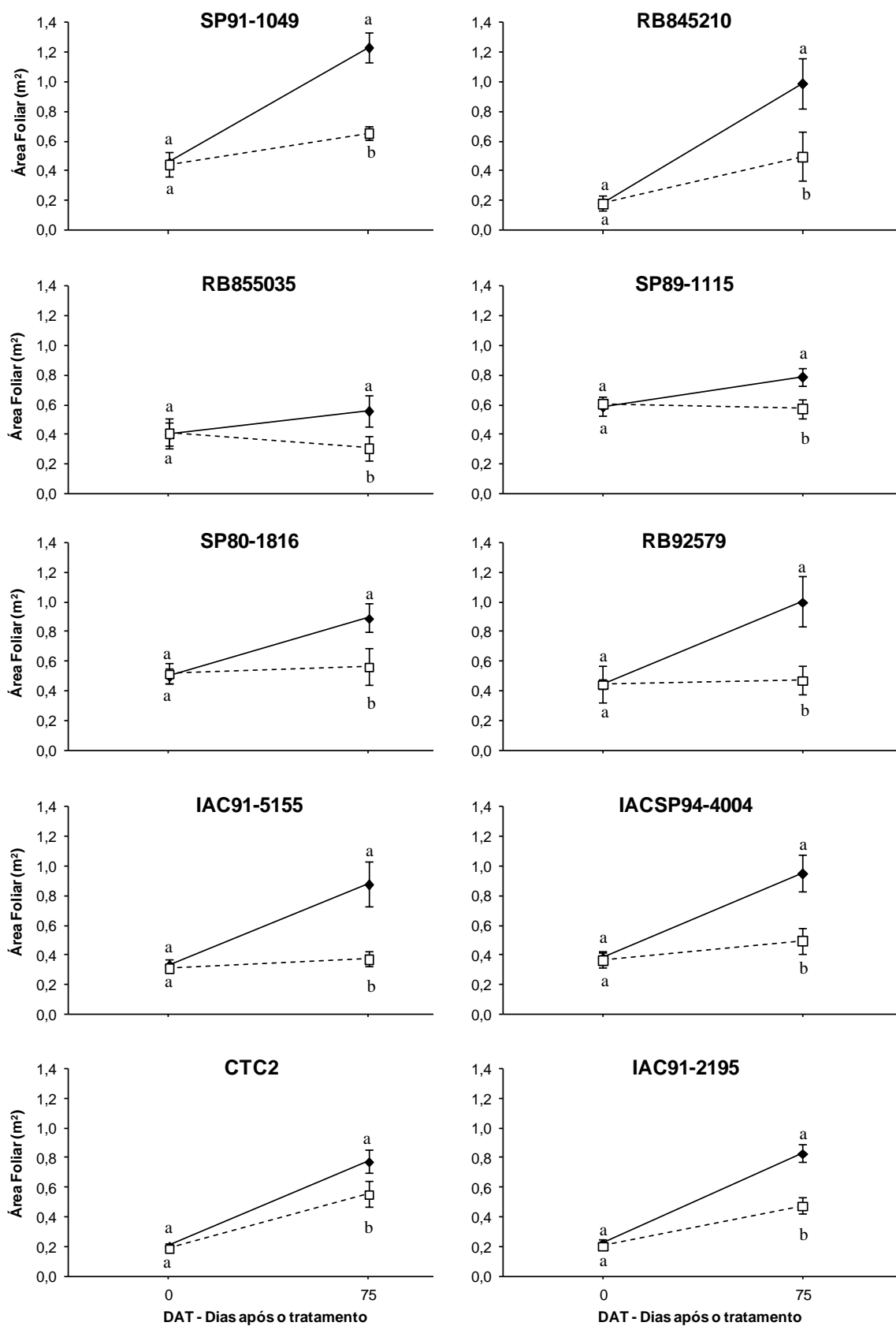


Figura 3. Área foliar (m²) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Abreu et al. (2013) também constatou influência do regime hídrico na área foliar da cana-de-açúcar, sendo que a parcela com maior déficit hídrico foi a que apresentou a menor área foliar, o que está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 7. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Área Foliar. Botucatu. SP 2012.

Cultivares/Variáveis	AF
SP91-1049	1
RB845210	0
RB855035	1
SP89-1115	2
SP80-1816	2
RB92579	0
IAC915155	0
IACSP94-4004	0
CTC2	2
IAC912195	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

6.1.4 Densidade de Estômatos

6.1.4.1 Densidade Estomática na face adaxial

Segundo análise de variância foram observados efeitos significativos em nível de 1% de significância ($P < 0,01$) promovidos por cultivares em 0 e 75 DAT, e em 5% de significância ($P < 0,05$) para interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT para a variável densidade estomática na face adaxial (Tabela 5).

A avaliação da densidade estomática na face adaxial mostrou que a maior diferença está entre as cultivares, sendo que de dez cultivares estudadas, apenas duas delas apresentaram diferença estatística entre os tratamentos com e sem restrição hídrica, foram RB855035 e IACSP94-4004 (Figura 4). O que permite inferir que a densidade estomática na face adaxial não recebe interferência pronunciada da deficiência hídrica.

Tabela 8. Análise de variância para a variável densidade estomática na face adaxial em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	10,205**	3,42**
Regime Hídrico	1	0,911	3,246
Repetição	3	2,306	0,062
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,424	2,634*
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		7,60%	10,59%

*: significativo ($P > 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$)

A quantidade de estômatos de uma folha é definida no decorrer do processo de crescimento (KOUWENBERG et al., 2004), então, as cultivares RB855035 e IACSP94-4004 responderam aumentando a densidade estomática, o que pode ser indicativo que essas cultivares sejam extremamente sensíveis à deficiência hídrica.

O aumento na densidade estomática é geralmente observado em folhas de plantas expostas a estresses ambientais, e pode ser um indicativo de mecanismo de adaptação das plantas às condições de baixa disponibilidade hídrica no solo (ALMEIDA, 2001).

Para a variável densidade estomática adaxial não houve resposta muito evidente, sendo que apenas duas cultivares mostraram-se diferentes estatisticamente na segunda época de avaliação, sendo assim, a tabela com as notas indicativas de tolerância não será apresentada para esta variável.

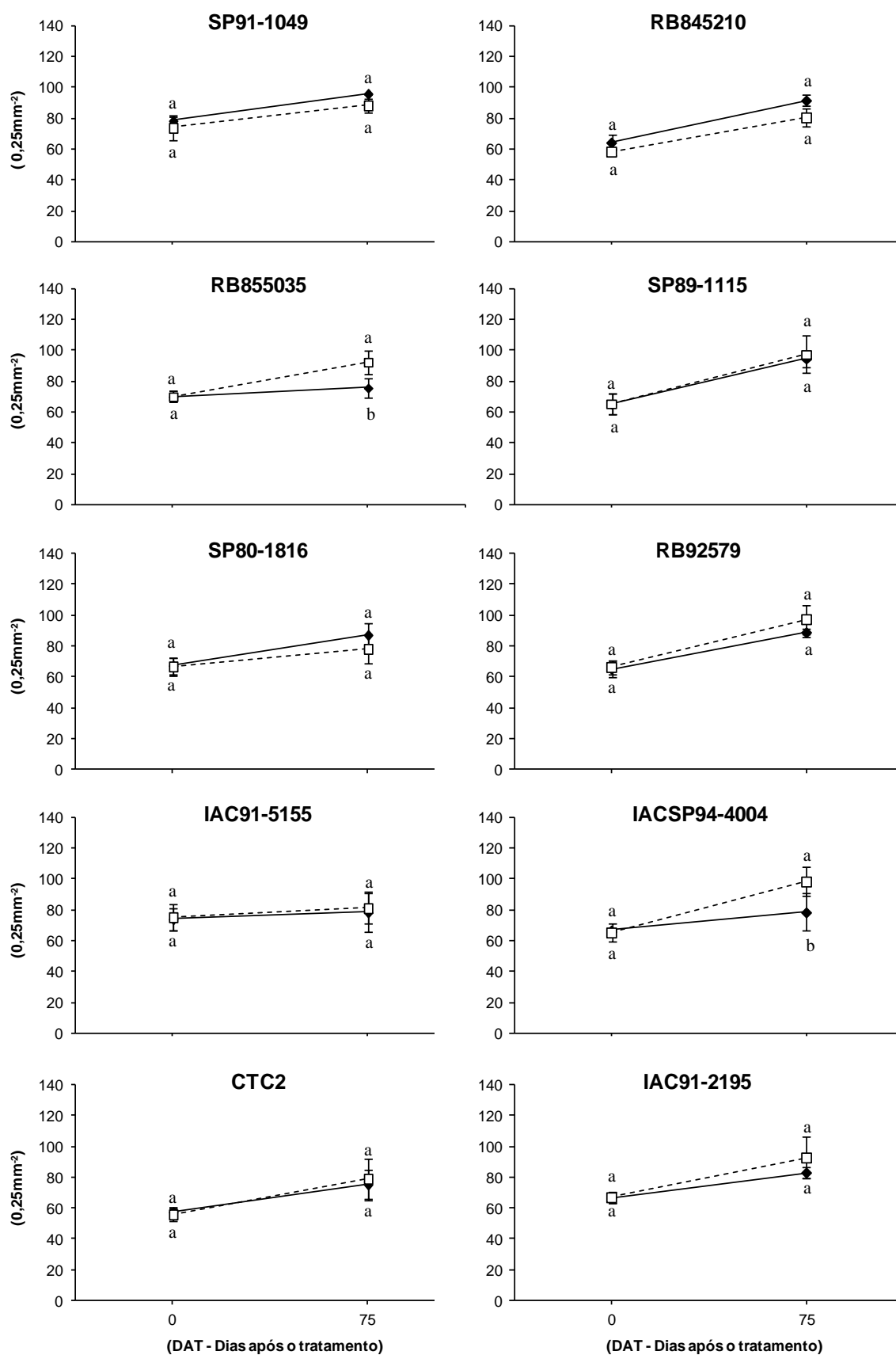


Figura 4. Densidade estomática da face adaxial de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.1.4.2 Densidade Estomática na face abaxial

A análise de variância para a variável densidade estomática na face abaxial revelou diferença significativa em nível de 1% de significância ($P < 0,01$) para cultivares tanto em 0 e 75 DAT, e para regime hídrico bem como para a interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT (Tabela 6).

Tabela 9. Análise de variância para a variável densidade estomática na face abaxial em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	30,814**	25,608**
Regime Hídrico	1	0,342	905,858**
Repetição	3	0,845	0,24
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,231	9,322**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de variação		10,83%	3,26%

** : significativo ($P < 0,01$)

Neste estudo, todas as cultivares apresentaram diferença estatística com 1% de probabilidade ($P < 0,01$) aos 75 DAT, com aumento no número de estômatos, tanto no tratamento com restrição hídrica como no tratamento com regime hídrico adequado, devido ao avanço da época de inverno com progressiva redução na temperatura média da casa de vegetação. Porém, aumentos maiores foram verificados nas plantas submetidas à deficiência hídrica, o que comprova o efeito deste tratamento na variável em estudo (Figura 5).

Dentro do tratamento com restrição hídrica, as variedades que apresentaram maior densidade estomática na face abaxial em 75 DAT foram SP89-1115, IAC91-2195, IAC91-5155, RB92579 e RB845210, em ordem decrescente de densidade estomática, sendo que a cultivar CTC2 também apresentou número bem elevado de estômatos na face abaxial no tratamento com deficiência hídrica (Figura 5).

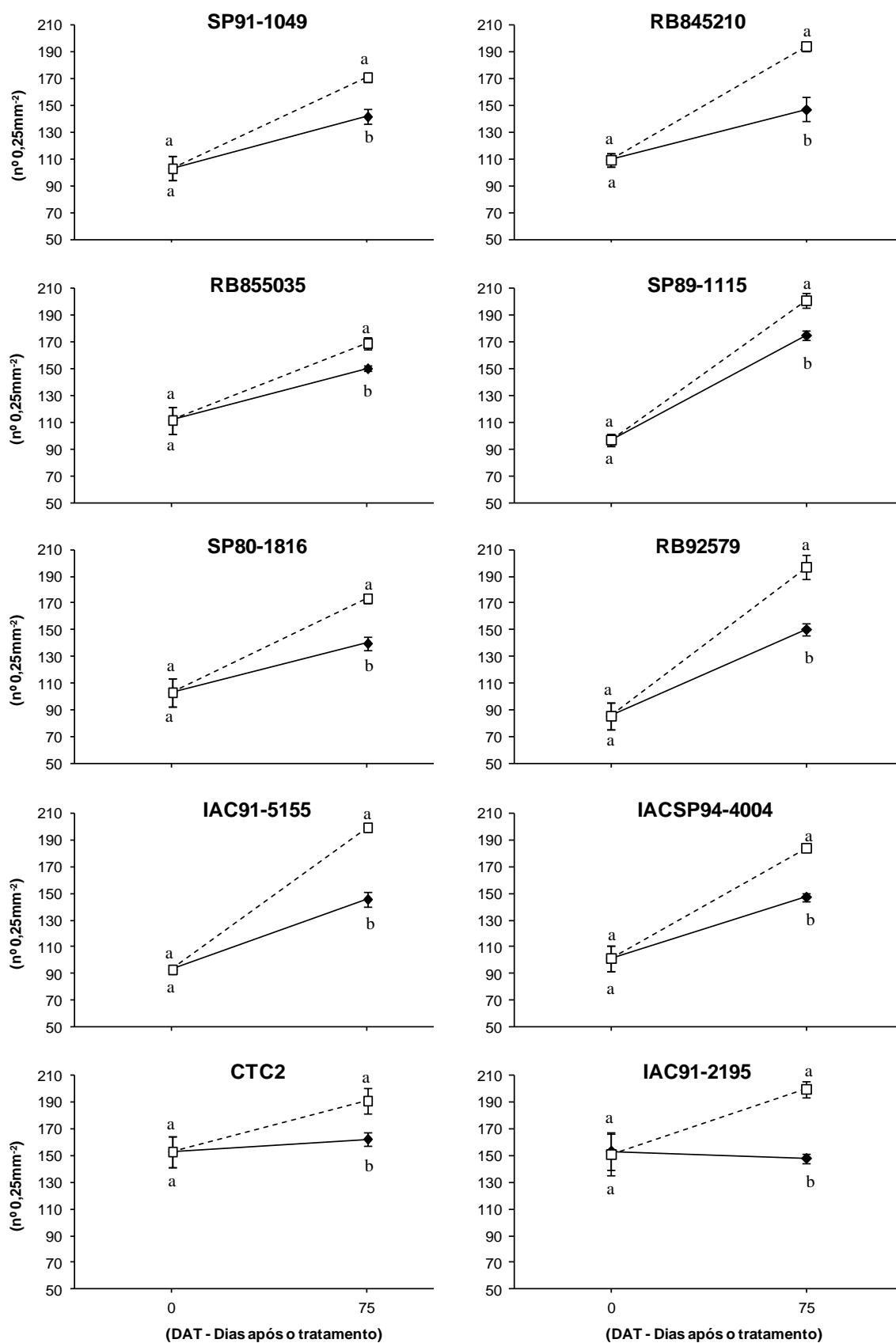


Figura 5. Densidade estomática da face abaxial de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--) aos 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Larcher (2000) afirma que as plantas tolerantes à deficiência hídrica podem responder a esse fator emitindo novas folhas com maior densidade estomática, entretanto com estômatos de menor diâmetro. Isto possibilita que o ar à sua volta fique mais úmido, aumentando a resistência à movimentação do ar da camada adjacente à epiderme foliar, evitando assim maiores danos às trocas gasosas. Neste caso, a densidade estomática está relacionada também com o controle de abertura dos estômatos, o tamanho e posição dos estômatos. (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997), o que obviamente afeta a difusão do CO₂.

Fahn e Cutler (1992) observaram maior densidade estomática, menor área foliar, maior espessura total e do parênquima paliçádico e presença de camadas subepidérmicas e de tecido esclerenquimático, como estratégias para minimizar a perda de água aumentando a resistência cuticular.

Tabela 10. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Densidade estomática abaxial. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variáveis	DEAB
SP91-1049	0
RB845210	2
RB855035	0
SP89-1115	1
SP80-1816	0
RB92579	2
IAC915155	2
IACSP94-4004	0
CTC2	2
IAC912195	2

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

Para densidade estomática abaxial, nota-se que houve resposta ao tratamento com deficiência hídrica da cultivar IAC91-2195, a qual é o padrão de susceptibilidade, evidenciando que a resposta é intrínseca de cada cultivar.

6.2 Variáveis Fisiológicas

6.2.1 Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

A análise de variância para a variável potencial hídrico foliar (Ψ_w) revelou efeito significativo ($P < 0,01$) para a fonte de variação cultivares em 0 e 75 DAT, para regime hídrico e para a interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT (Tabela 7).

As condições hídricas dos vegetais estão correlacionadas com o teor de água nas folhas, e uma maneira de expressar a deficiência de água nesses tecidos é medir o status de energia da água, ou seu potencial total (NOGUEIRA et al., 2000). Neste caso, avaliações de CRA e Ψ_w foliar têm sido bem responsivas e correlacionadas com tolerância à deficiência hídrica (SILVA et al., 2007).

O Ψ_w foliar está relacionado com a dinâmica do transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera e é o responsável pelo fluxo de água pela planta. Esta variável apresentou redução com a deficiência hídrica nos dez genótipos estudados.

A média do potencial hídrico na primeira avaliação (0 DAT) foi de -0,53MPa, enquanto que na segunda avaliação (75 DAT) as médias dos tratamentos sem e com deficiência hídrica foram -0,78MPa e -1,56MPa, respectivamente. As plantas que conseguem manter maiores potenciais hídricos em condição de deficiência hídrica são tidas como tolerantes, visto isso, as cultivares estudadas que mantiveram o potencial hídrico em níveis maiores, no tratamento com deficiência hídrica são SP91-1049, RB845210, IAC91-5155, CTC2, SP80-1816 e RB92579 (Figura 6).

Tabela 11. Análise de variância para a variável potencial hídrico foliar (Ψ_w) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes Hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	26,215**	13,485**
Regime Hídrico	1	0,021	673,030**
Repetição	3	0,148	0,23
Cultivares x Reg. Híd.	9	1,358	7,273**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		14,43%	11,38%

** : significativo ($P < 0,01$)

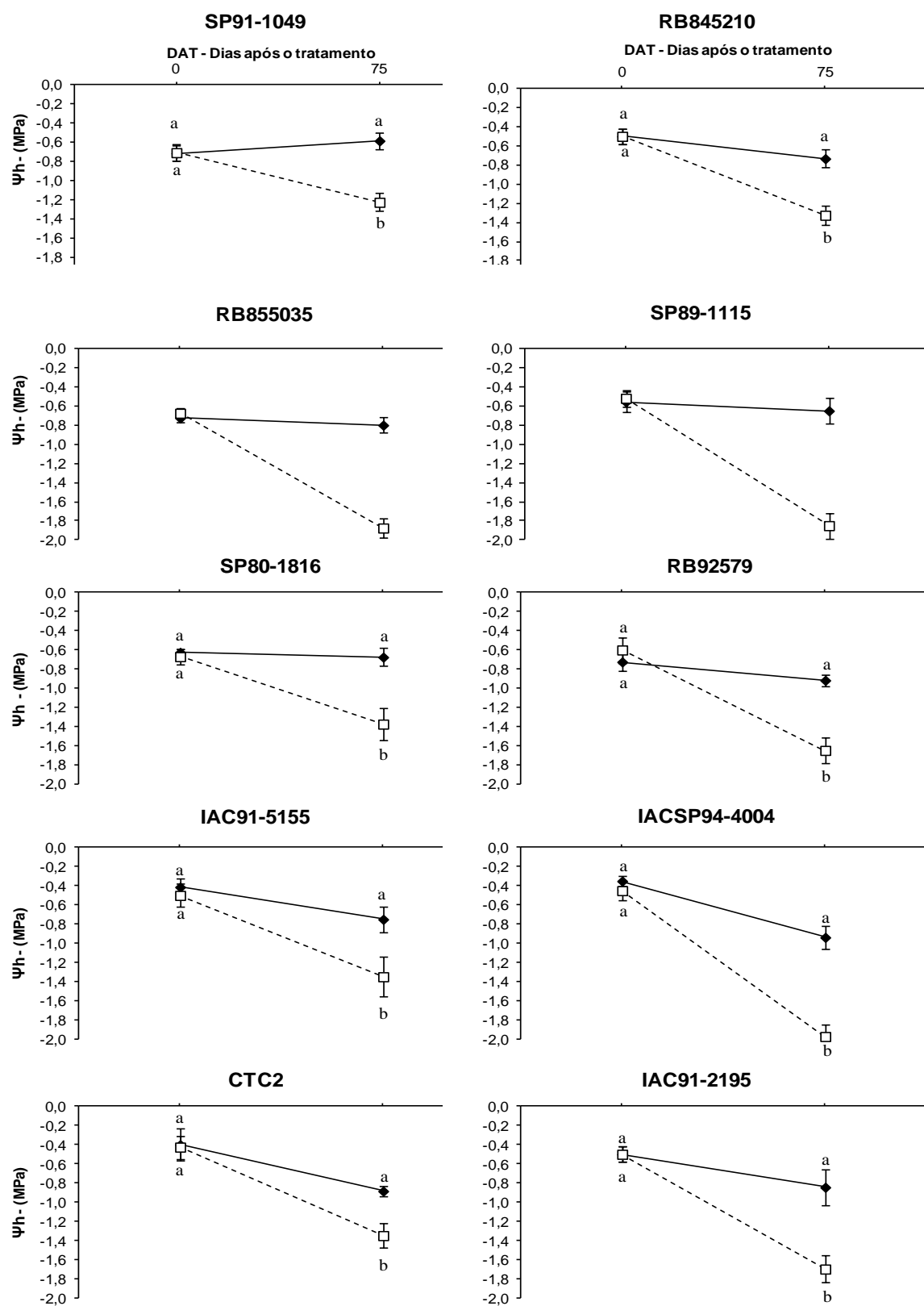


Figura 6. Potencial hídrico das folhas dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--) aos 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Na fase inicial do estresse por falta de água ocorre a redução da fotossíntese, nesta situação os estômatos se fecham em resposta tanto ao declínio do turgor das células da folha quanto à queda no potencial da água nas folhas ou à baixa umidade do ar (YORDANOV et al., 2003).

Todas as cultivares do tratamento com estresse hídrico apresentaram média de potencial hídrico em torno de -1,3 MPa (Figura 6). Com potencial de água na folha (Ψ_w) ao redor desse valor, o alongamento celular é praticamente nulo (INMAN-BAMBER; JAGER, 1986), e o alongamento das folhas é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo (INMAN-BAMBER et al., 2008).

Tabela 12. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Potencial Hídrico Foliar. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variáveis	PHF
SP91-1049	1
RB845210	2
RB855035	0
SP89-1115	0
SP80-1816	1
RB92579	0
IAC915155	2
IACSP94-4004	0
CTC2	2
IAC912195	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

Valores pouco inferiores de potencial hídrico foliar foram encontrados por Holanda (2012), que estudou genótipos de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica moderada, e afirmou que o estresse hídrico moderado não foi suficiente para queda maior no potencial hídrico foliar. Por outro lado, Pincelli (2010) ao avaliar quatro genótipos de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica moderada, obteve valores de potencial hídrico foliar da ordem de -2,5MPa, indicando deficiência hídrica mais severa que a do presente trabalho.

6.2.2 Conteúdo relativo de água (CRA)

Para a variável conteúdo relativo de água, a análise de variância apresentou efeito significativo ($P < 0,01$) para a fonte de variação cultivares em 0 e 75 DAT, para regime hídrico e para a interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT (Tabela 8).

A medição do conteúdo relativo de água, feita em 0 DAT mostra que não houve diferença estatística entre os tratamentos e que a média obtida foi de 93,63%. Já em 75 DAT, as medições mostraram um conteúdo relativo de água de 93,03% para as plantas bem hidratadas e de 81,34% nas plantas sob deficiência hídrica. As cultivares com menor queda do CRA são RB92579, SP80-1816, CTC2, SP89-1115 e IAC91-5155. É possível observar padrão de resposta semelhante dos genótipos tanto para conteúdo relativo de água como para potencial hídrico foliar.

Tabela 13. Análise de variância para a variável conteúdo relativo de água (CRA) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	7,761**	5,999**
Regime Hídrico	1	0,015	528,235**
Repetição	3	1,776	2,42
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,254	5,908**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		2,44%	2,61%

** : significativo ($P < 0,01$)

De acordo com Silva et al. (2007), o CRA seria um indicador chave do grau de hidratação dos tecidos vegetais, o que é de suma importância para o correto funcionamento dos processos fisiológicos e do crescimento celular. A manutenção de valor relativamente alto de CRA sob deficiência hídrica é indicativo de tolerância (COLOM; VAZZANA, 2003). O CRA na folha é o indicativo mais seguro do status hídrico da planta (SINCLAIR; LUDLOW, 1985). Mesmo o procedimento sendo destrutivo, ainda é o mais indicado para avaliar a condição hídrica das plantas em deficiência hídrica.

Tabela 14. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável conteúdo relativo de água. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variáveis	CRA
SP91-1049	0
RB845210	0
RB855035	1
SP89-1115	2
SP80-1816	1
RB92579	2
IAC915155	2
IACSP94-4004	0
CTC2	2
IAC912195	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

A resposta obtida para a variável conteúdo relativo de água foi bem evidente, retratou fielmente o padrão de tolerância e susceptibilidade das cultivares, já consolidado na literatura.

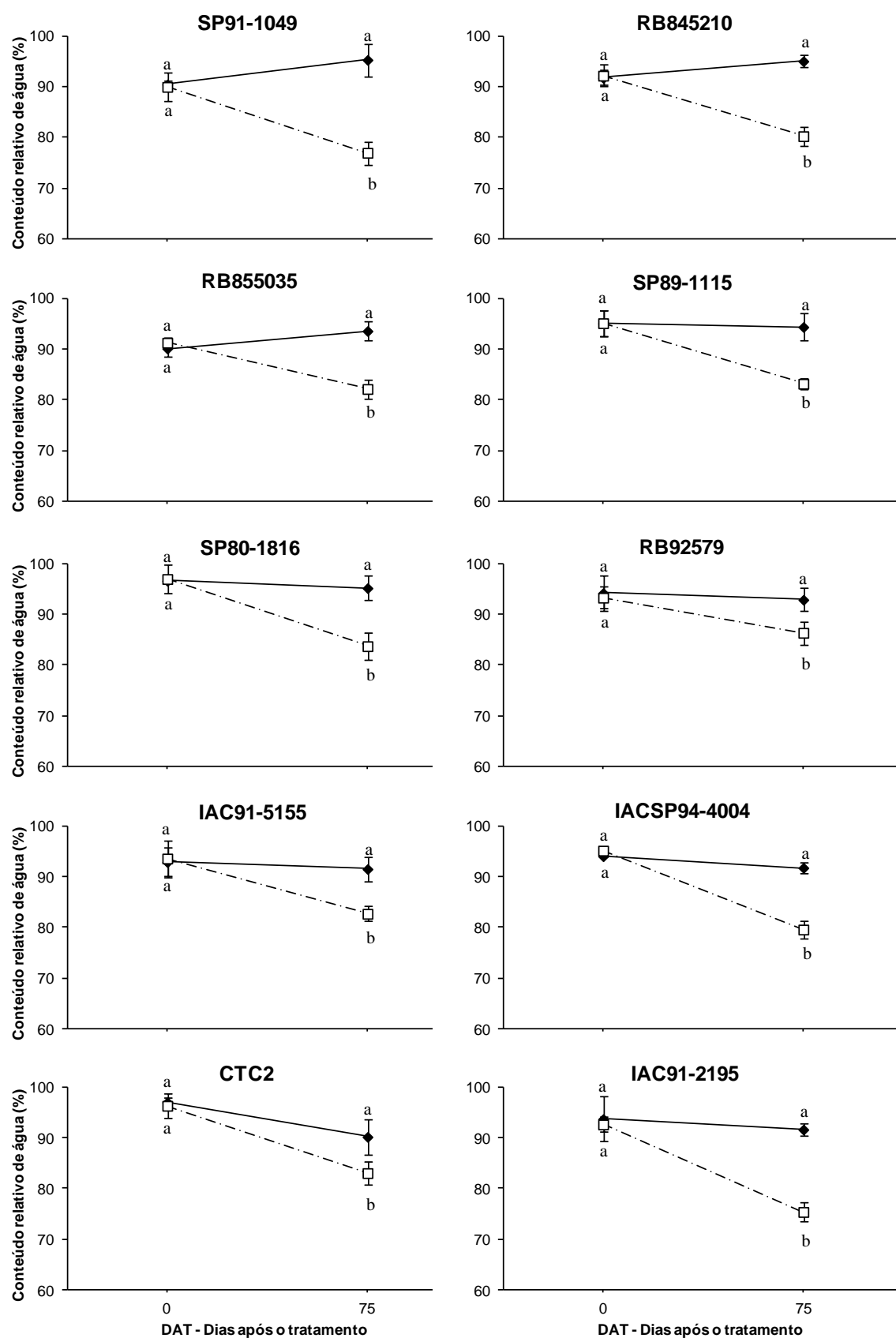


Figura 7. Conteúdo relativo de água (%) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--) aos 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.2.3 Conteúdo de clorofila total (CC a +b)

A análise de variância para a variável conteúdo de clorofila (CC) revelou efeito significativo ($P < 0,01$) para a fonte de variação cultivares em 0 e 75 DAT, para regime hídrico e para a interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT (Tabela 9).

Tabela 15. Análise de variância para a variável conteúdo de clorofila em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, em 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	8,626**	16,144**
Regime Hídrico	1	0,078	649,205**
Repetição	3	0,225	1,91
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,235	6,627**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		11,57%	11,65%

** : significativo ($P < 0,01$)

De modo geral, todas as cultivares apresentaram redução no teor de clorofila medido em espectrofotômetro da primeira (0 DAT) para a segunda avaliação (75DAT), com exceção da cultivar RB92579 que manteve o teor de clorofila praticamente inalterado no tratamento com deficiência hídrica nas duas avaliações.

Neste estudo, observou-se média de CC de $27,46 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $54,73 \mu\text{g cm}^{-2}$ para os tratamentos com e sem deficiência hídrica, respectivamente. Algumas cultivares, tais como RB92579, CTC2, RB855035, IAC91-2195 e IAC91-5155 coseguiram manter o teor de clorofila em níveis satisfatórios durante o emprego do déficit hídrico, com valores de $44,4 \mu\text{g cm}^{-2}$, $36,9 \mu\text{g cm}^{-2}$, $33,3 \mu\text{g cm}^{-2}$, $30,5 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $29,5 \mu\text{g cm}^{-2}$ respectivamente. Com destaque para as quatro primeiras cultivares citadas que superaram o padrão de tolerância utilizado (IAC91-5155) (Figura 8).

Holanda (2012) também constatou resposta significativa de conteúdo de clorofila total em regime de restrição hídrica para cana-de-açúcar e pôde verificar resposta similar da cultivar RB92579, a qual apresentou manutenção do conteúdo de clorofila, em relação à primeira época de avaliação, quando as plantas não estavam sob estresse.

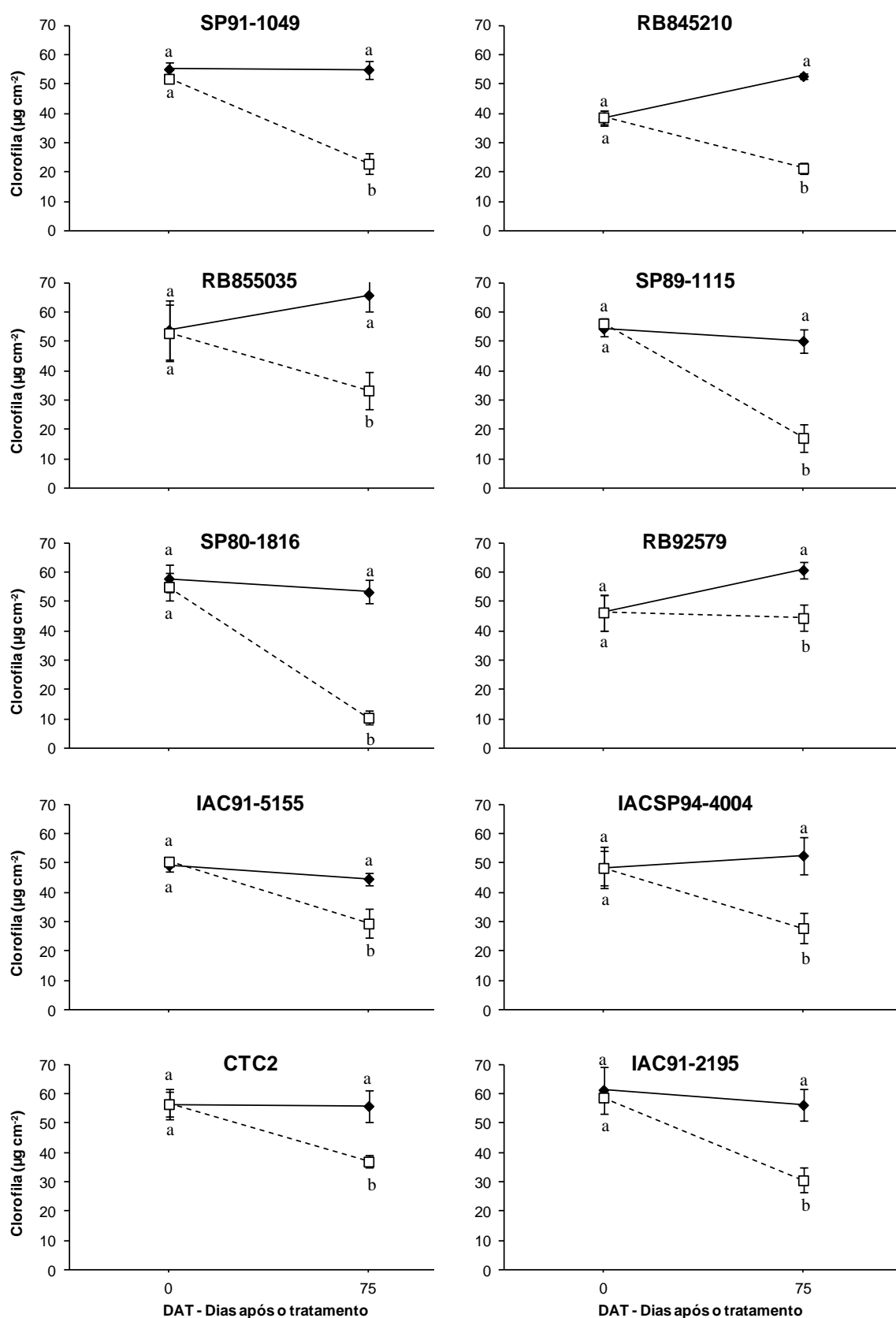


Figura 8. Conteúdo de clorofila de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Muitos autores têm demonstrado a influência direta da deficiência hídrica sobre os níveis de pigmentos fotossintetizantes em plantas de cana-de-açúcar (CARLIN et al., 2012; PINCELLI, 2010). Pincelli (2010) verificou que as cultivares de cana-de-açúcar tolerantes à seca apresentaram menor redução no teor de clorofila total em comparação com as cultivares sensíveis. Neste trabalho também foi possível caracterizar o conteúdo de clorofila total como bom indicativo do grau de tolerância à deficiência hídrica e sua viabilidade como parâmetro de seleção genotípica.

A clorofila é o principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa utilizada no processo de fotossíntese, constituindo um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética de plantas e consequentemente ao crescimento e adaptabilidade a diferentes ambiente (RÊGO; POSSAMAI, 2004).

Tabela 16. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Conteúdo de clorofila total. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variáveis	CLOR
SP91-1049	0
RB845210	0
RB855035	1
SP89-1115	0
SP80-1816	0
RB92579	2
IAC915155	2
IACSP94-4004	1
CTC2	2
IAC912195	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

6.2.4 Estimativa do conteúdo de clorofila via unidade SPAD (CE)

A análise de variância para a variável estimativa conteúdo de clorofila, via unidade SPAD, mostrou efeito significativo em nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$) para cultivares tanto na primeira como na segunda época de avaliação (0 e 75 DAT). As fontes de variação regime hídrico e cultivares x regime hídrico empregaram efeito significativo sobre a variável em 75 DAT com 1% de significância ($P < 0,01$) (Tabela 10).

Tabela 17 . Análise de variância para a variável estimativa conteúdo de clorofila via unidade SPAD em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos, 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	6,182**	14,236**
Regime Hídrico	1	0,327	719,505**
Repetição	3	2,234	1,04
Cultivares x Reg. Híd.	9	1,187	3,572**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		5,07%	6,29%

** : significativo ($P < 0,01$)

No início do experimento, não houve diferença estatística entre os tratamentos e as cultivares apresentaram valores de índice SPAD entre 42 e 50. Aos 75 DAT, todas as cultivares apresentaram diferença estatística em resposta ao tratamento com deficiência hídrica, com valores de índice SPAD variando de 39 a 45 (plantas bem hidratadas) e de 22 a 37 (plantas sob estresse hídrico) (Figura 9). Todas as cultivares apresentaram queda no valor do índice SPAD, resultado também observado por Silva et al. (2011) em genótipos de cana-de-açúcar sob estresse hídrico.

As cultivares que apresentaram maiores valores de índice SPAD no tratamento com restrição hídrica, aos 75 DAT, foram RB85-5035, SP91-1049, CTC2 e IAC91-2195, seguida pela RB92579. No entanto, as que se destacaram por apresentar menor redução percentual deste índice foram RB855035, SP91-1049 e CTC2, com respectivamente 18,2%, 23,8% e 26,2% contrastando com as demais que apresentaram reduções sempre maiores que 30%, atingindo o máximo de redução de 44,3% na cultivar IACSP94-4004 (Figura 9).

Estes valores estão de acordo com Silva et al. (2012) que verificaram valores menores que 40 para índice SPAD estudando cana-de-açúcar sob deficiência hídrica. Silva et al. (2007) afirmaram que leituras de índice SPAD inferiores a 40 já são indício do início da degradação da clorofila devido à restrição hídrica, afetando assim o aparato fotossintético da cana-de-açúcar.

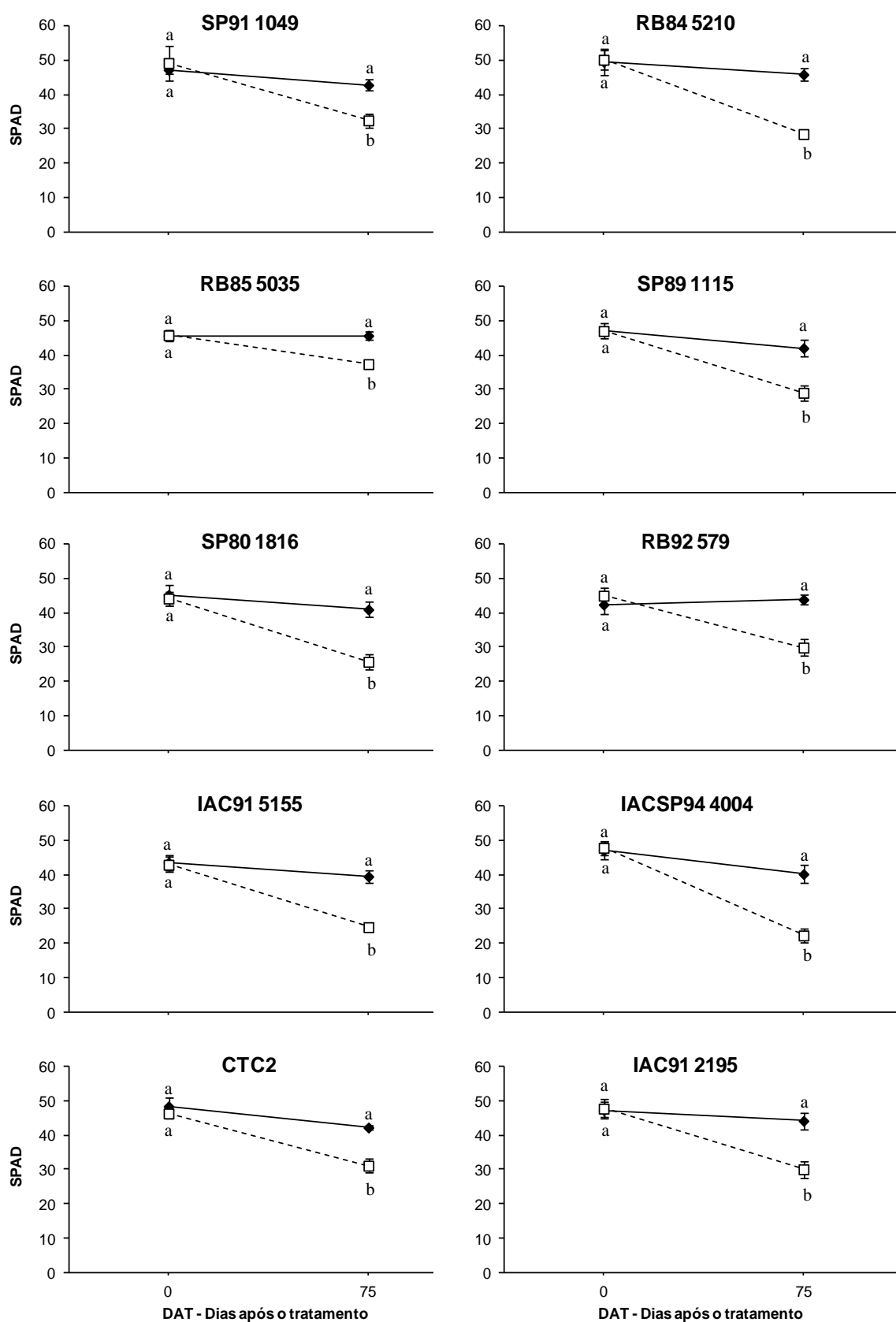


Figura 9. Estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Silva et al. (2012) afirmaram que o índice SPAD é um bom parâmetro para indicar distúrbios causados às plantas pelo estresse hídrico e pode ser indicado como ferramenta na seleção de genótipos tolerantes à seca. O uso dessa técnica é de fácil obtenção e vem se mostrando confiável para diferenciar entre plantas tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica (O'NEILL et al., 2006).

Tabela 18. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Clorofila via unidade SPAD. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variável	SPAD
SP91-1049	2
RB845210	0
RB855035	2
SP89-1115	1
SP80-1816	0
RB92579	2
IAC915155	0
IACSP94-4004	0
CTC2	2
IAC912195	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

6.2.5 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m)

Para a variável eficiência fotoquímica do fotossistema II, a análise de variância evidenciou efeito significativo a 1% de probabilidade ($P < 0,01$) para cultivares em 0 e 75 DAT; do mesmo modo para as fontes de variação regime hídrico e interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT (Tabela 11).

As plantas de cana-de-açúcar não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos com e sem deficiência hídrica na primeira época avaliada, em 0 DAT. Aos 75 DAT, o único genótipo avaliado em que os tratamentos não foram significativamente diferentes foi o IACSP94-4004, todos os outros genótipos foram afetados negativamente pela deficiência hídrica. As cultivares que mantiveram maiores valores de F_v/F_m sob déficit hídrico foram IACSP94-4004, IAC91-2195, RB855035 e RB845210 (Figura 10).

Tabela 19. Análise de variância para a variável eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	6,701**	10,939**
Regime Hídrico	1	0,604	280,25**
Repetição	3	1,18	2,647
Cultivares x Reg. Híd.	9	2,927	5,254**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		1,89%	3,49%

** : significativo ($P < 0,01$)

A média dos tratamentos com e sem deficiência hídrica foram respectivamente 0,701 e 0,806. As menores reduções entre o tratamento controle (sem estresse hídrico) e com déficit hídrico ocorreram nas cultivares IACSP94-4004, SP80 - 1816, IAC91-5155 e IAC91-2195, respectivamente 3,8%, 9,29%, 10,39% e 11,22%. (Figura 10).

Com exceção da cultivar IACSP94-4004, todas as outras apresentaram valor de F_v/F_m abaixo de 0,75, indicando dano no aparato fotossintético induzido pela falta de suprimento hídrico, valores que Silva et al. (2007) indicaram como sendo de plantas com dano ao aparato fotossintético.

Silva et al. (2007) assumem que a habilidade da planta em manter alto valor de F_v/F_m sob tratamento com deficiência hídrica indica a manutenção de alta eficiência do uso da radiação e alta assimilação de carbono. Corroborando com esta ideia Colom e Vazzana (2003) indicaram correlação positiva entre alto valor de F_v/F_m e tolerância ao déficit hídrico.

Neste experimento, a técnica de medição da fluorescência da clorofila *a* se revelou segura para a diferenciação entre as cultivares de cana-de-açúcar tolerantes à deficiência hídrica, com o benefício de ser não destrutiva e de fácil aplicação por meio de fluorometria.

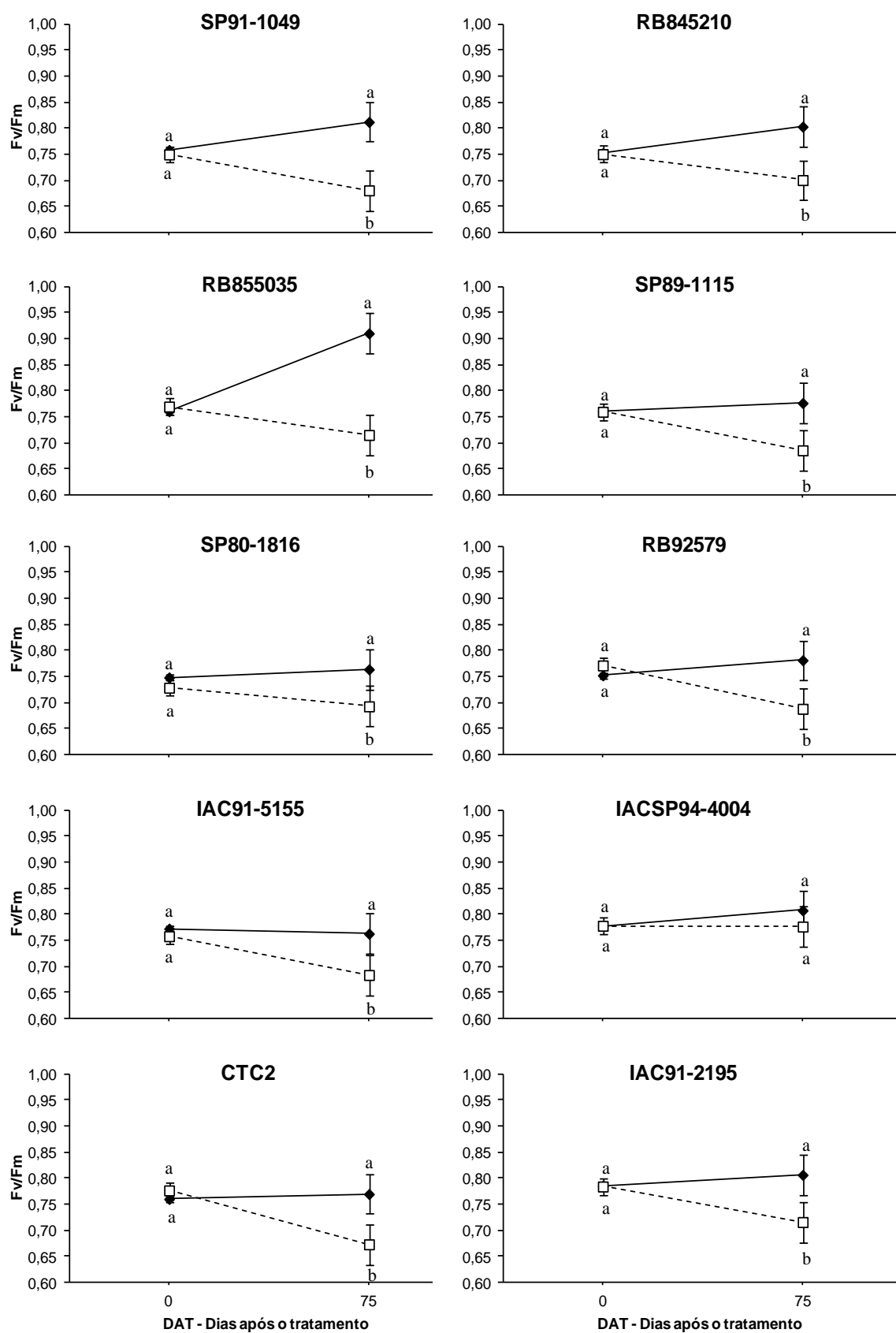


Figura 10. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Tabela 20. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável eficiência fotoquímica do fotossistema II. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variável	Fv/Fm
SP91-1049	0
RB845210	1
RB855035	1
SP89-1115	2
SP80-1816	1
RB92579	2
IAC915155	1
IACSP94-4004	2
CTC2	0
IAC912195	1

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

6.2.6 Condutância estomática (gs)

A análise de variância para a variável condutância estomática não apresentou nenhum efeito das fontes de variação na primeira avaliação (0 DAT); no entanto apresentou efeito significativo a 1% de probabilidade ($P < 0,01$) de cultivares, regime hídrico e da interação cultivares x regime hídrico sobre a condutância estomática (gs) na segunda avaliação (75 DAT) (Tabela 12).

Tabela 21. Análise de variância para a variável condutância estomática (gs) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	1,758	22,17**
Regime Hídrico	1	0,021	1038,218**
Repetição	3	1,592	2,027
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,017	19,725**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		19,23%	20,73%

** : significativo ($P < 0,01$)

Embora todas as cultivares tenham apresentado redução na condutância estomática medida aos 75 DAT, houve grande variação de resposta entre os genótipos (Figura 11).

As cultivares que mantiveram taxas mais altas de condutância estomática, em ocasião da deficiência hídrica, foram RB855035, SP91-1049, RB92579 e IAC91-2195; e as menores reduções observadas nas plantas do tratamento com restrição hídrica em relação ao controle, para esta variável, foram CTC2, RB92-579, IAC91-5155 e SP89-1115, com 74,5%, 76,3%, 78,6% e 78,4%, respectivamente (Figura 11)

O fechamento dos estômatos objetiva minimizar a perda de água, atuando como um mecanismo de defesa ao dessecamento, contudo, simultaneamente limita a assimilação de CO₂ (PIMENTEL, 2004), mas também podem fechar quando o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar aumenta (OREN et al., 2001).

Pincelli (2010) também encontrou enorme variabilidade genotípica medindo a condutância estomática em quatro genótipos de cana-de-açúcar submetidos à deficiência hídrica, e notou redução na condutância estomática em plantas de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. Gonçalves et al. (2010) constataram que há tendência de redução na condutância estomática com o tempo em seu estudo com quatro genótipos de cana sob deficiência hídrica.

Em contrapartida, Silva et al. (2012), pesquisando cana-de-açúcar sob restrição hídrica, concluíram que maior redução estomática associada a maior taxa fotossintética seria um mecanismo fisiológico responsável pela maior tolerância à seca.

Resultado semelhante foi encontrado por Ennahli e Earl (2005) trabalhando com algodão, no qual houve reduções superiores a 90% na condutância estomática em estresse hídrico moderado a severo.

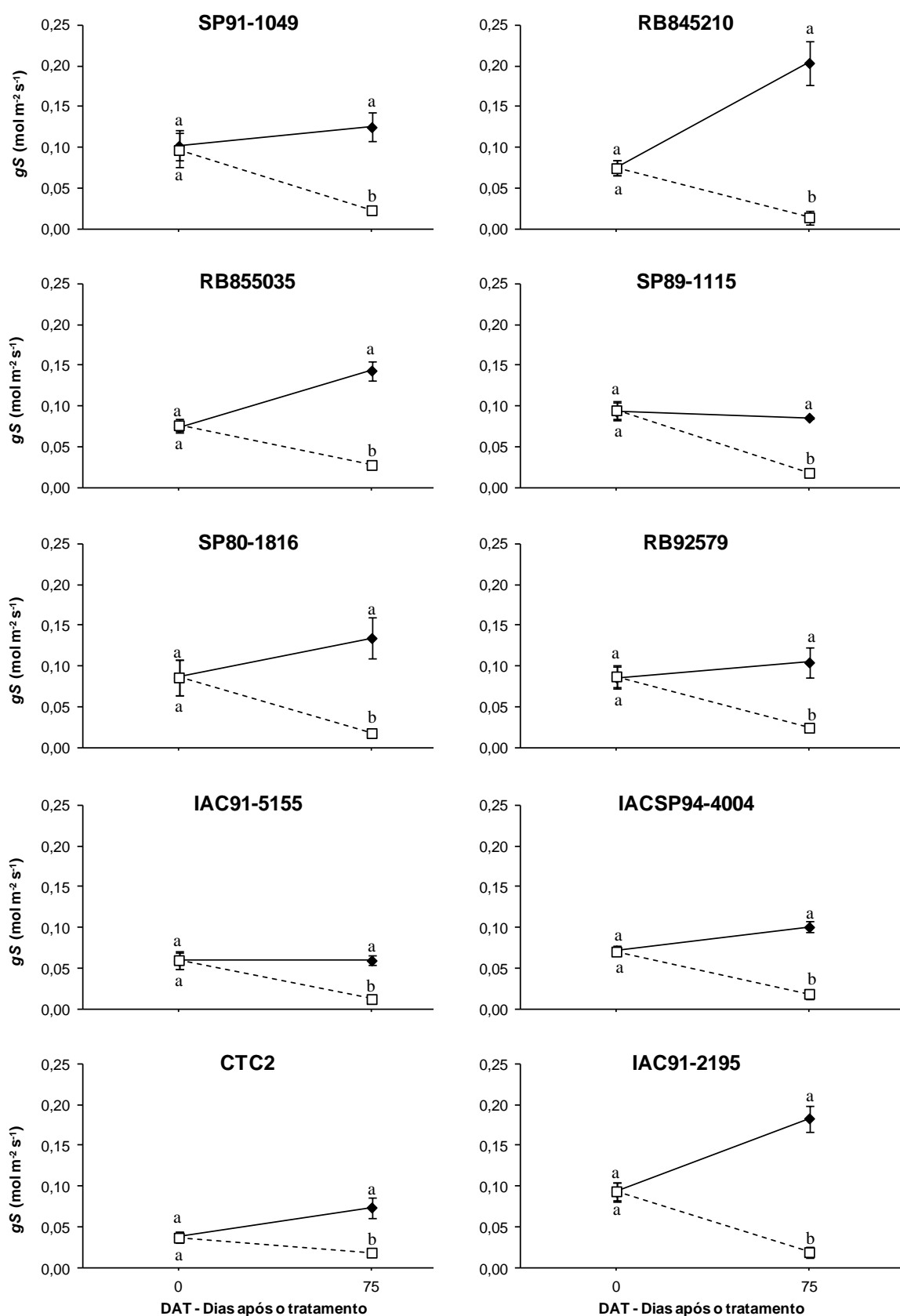


Figura 11. Condutância estomática (g_s) de dez cultivares de cana-de-açúcar submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆—) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

Tabela 22. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável condutância estomática (gS). Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variável	gs
SP91-1049	0
RB845210	0
RB855035	1
SP89-1115	1
SP80-1816	0
RB92579	2
IAC915155	1
IACSP94-4004	0
CTC2	1
IAC912195	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

6.2.7 Taxa de Assimilação de CO₂ (A)

A análise de variância revelou efeito significativo, a 1% de probabilidade, para as fontes de variação cultivares, em 0 e 75 DAT, para regime hídrico e interação cultivares x regime hídrico em 75 DAT, sobre a variável taxa de assimilação de CO₂ (Tabela 13).

Tabela 23. Análise de variância para a variável Taxa de Assimilação de CO₂ (A) em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 0 e 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		0 DAT	75 DAT
Cultivares	9	10,457**	8,225**
Regime Hídrico	1	0,002	996,571**
Repetição	3	0,995	0,83
Cultivares x Reg. Híd.	9	0,012	6,027**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		17,63%	20,20%

** : significativo (P<0,01)

Em relação à variável taxa de assimilação de CO₂, a média dos tratamentos com e sem deficiência hídrica foi respectivamente 3,08 e 18,41(μmol cm⁻² s⁻¹), o que indica forte redução na fotossíntese líquida nas plantas submetidas à deficiência hídrica (Figura 12).

As cultivares que tiveram maiores taxas de assimilação de CO₂ quando submetidas à restrição hídrica foram CTC2, IAC91-5155, SP91-1049, IAC91-2195 e RB92579, respectivamente com valores de 4,47; 3,84; 3,79; 3,78 e 3,78 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, todas acima da média do tratamento. A cultivar CTC2 superou a cultivar padrão de tolerância à deficiência hídrica (IAC91-5155). Dentre as variedades citadas, apresentaram taxa de assimilação de CO₂ maior que 20 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, no tratamento sem restrição hídrica, as cultivares CTC2, RB92579 e IAC91-2195 (Figura 12).

Baldo (2007) estudando plantas de milho submetidas a déficit hídrico e luminoso encontrou redução de 50% na taxa de assimilação de CO₂ nas plantas estressadas em comparação às do grupo controle. Os decréscimos de *g_s*, induzidos pelo déficit hídrico, afetaram significativamente a assimilação de CO₂, resultado bem relatado em espécies cultivadas (Chaves et al., 2009).

A tolerância à seca está relacionada a mecanismos fisiológicos capazes de manter o crescimento da planta em condição restritiva, tais como fechamento estomático e manutenção da atividade fotossintética (Machado et al., 2009).

Tabela 24. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Taxa de Assimilação de CO₂. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variável	A
SP91-1049	2
RB845210	0
RB855035	0
SP89-1115	1
SP80-1816	0
RB92579	1
IAC915155	1
IACSP94-4004	1
CTC2	1
IAC912195	1

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

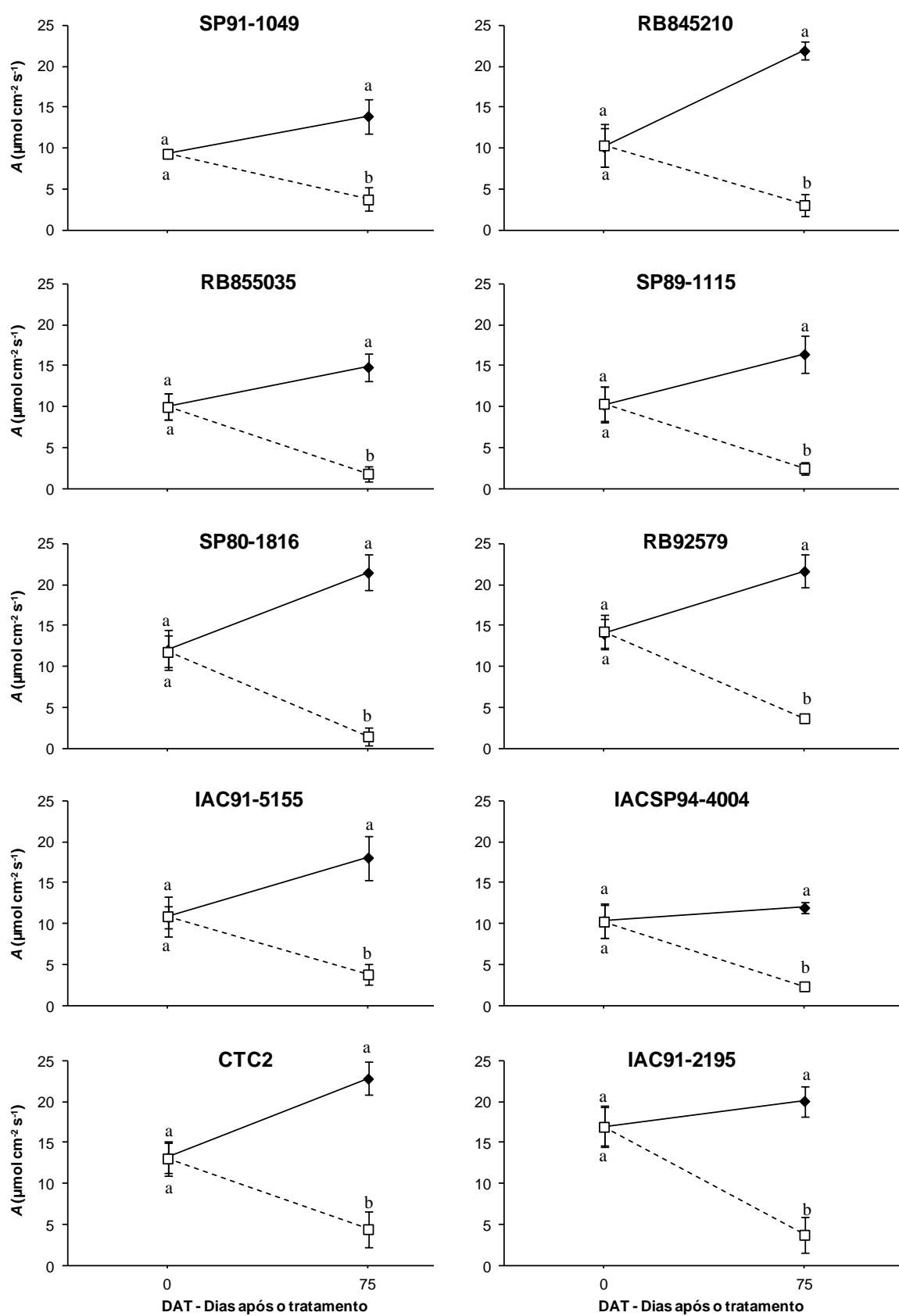


Figura 12. Taxa de assimilação de CO₂ (A) dez cultivares de cana submetidas a regime hídrico adequado (+W, —◆) e à deficiência hídrica (-W, --□--), 0 e 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.3 Massa de matéria seca da parte aérea e das raízes

A fonte de variação cultivares, regime hídrico e interação cultivares x regime hídrico foram altamente significativos a 1% de significância ($P < 0,01$) para matéria seca da parte aérea e raízes (Tabela 14).

Tabela 25. Análise de variância para as variáveis matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes em cana-de-açúcar sob efeito de cultivares e regimes hídricos aos 75 DAT. Botucatu. SP. 2012.

Causas de variação	GL	F	
		P. Aérea	Raízes
Cultivares	9	41,31**	26,41**
Regime Hídrico	1	1489,06**	243,361**
Repetição	3	0,88	6,97
Cult. x Reg. Híd.	9	7,431**	3,334**
Erro	57		
Total	79		
Coefficiente de Variação		9,69%	12,05%

** : significativo ($P < 0,01$)

Neste estudo, a média do tratamento com deficiência hídrica foi 130g, as cultivares que apresentaram produção de matéria seca da parte aérea maior que a média foram RB855035, SP89-1115, SP80-1816, RB92579, SP91-1049 e CTC2, produzindo respectivamente; 182, 174,5, 168,4, 149,7, 145,5 e 138,3g de matéria seca da parte aérea.

Em relação à redução percentual em decorrência do estresse hídrico comparativamente ao controle bem hidratado, se destacaram as cultivares IAC91-5155, SP80-1816, RB855035, SP89-1115, RB92579 e CTC2 com reduções de 47,3%, 49,2%, 49,8%, 52,6%, 57,8% e 58,7% respectivamente, de matéria seca da parte aérea; ficando todas as outras com redução percentual acima de 64% (Figura 13). Estes valores são relativamente maiores que os encontrados por Silva (2011), que trabalhando com cana-de-açúcar sob estresse hídrico, encontrou da ordem de 40% de redução na matéria seca da parte aérea. Gonçalves (2008) encontrou maiores reduções na matéria seca da parte aérea imposta pela seca, até 52% em estresse hídrico severo. Para a variável matéria seca da parte aérea, a cultivar utilizada como padrão de resistência à seca se sobressaiu às demais no quesito menor redução percentual em relação ao controle, porém foi superada na

produção total de matéria seca, em situação de estresse hídrico, pelas cultivares RB855035, SP89-1115, SP80-1816, RB92579, SP91-1049 e CTC2.

Considerando a massa de matéria seca das raízes, esta também teve redução em decorrência da deficiência hídrica em todas as cultivares estudadas. Aquelas que produziram maior massa seca de raízes dentro do tratamento com restrição hídrica foram IAC91-2195, CTC2, IACSP94-4004 e RB855035 com 167,1 g; 154,7 g; 114,7 g e 112,3 g respectivamente. Já as menores reduções percentuais da matéria seca de raízes das plantas sob deficiência hídrica quando comparadas com as plantas do controle foram IAC91-5155, SP80-1816, RB92579 e SP91-1049 e RB855035 com 20,3%, 28%, 31,17%, 31,2% e 32,1% respectivamente; as demais cultivares apresentaram reduções de 33% a 48% na matéria seca de raízes em comparação ao controle (Figura 13).

Mecanismos morfológicos como a manutenção do crescimento radicular ocorrem quando o déficit hídrico é moderado (HSIAO; XU, 2000). O menor acúmulo de matéria seca pelas plantas sob estresse hídrico é consequência dos mecanismos da própria planta para evitar a perda excessiva de água, como a diminuição da área foliar, o que diminui a interceptação de radiação e redução da condutância estomática, que diminui a assimilação de CO₂ e dessa forma, também o acúmulo de biomassa (CAVATTE et al., 2011).

Tabela 26. Atribuição de notas para as cultivares em relação ao nível de tolerância à deficiência hídrica para a variável Matéria seca de parte aérea e raízes. Botucatu. SP. 2012.

Cultivares/Variável	MSPA	MSR
SP91-1049	1	1
RB845210	0	0
RB855035	2	2
SP89-1115	2	0
SP80-1816	2	1
RB92579	2	1
IAC915155	1	1
IACSP94-4004	0	1
CTC2	2	1
IAC912195	0	0

Branco: nota 0; Cinza claro: nota 1; Cinza escuro: nota 2

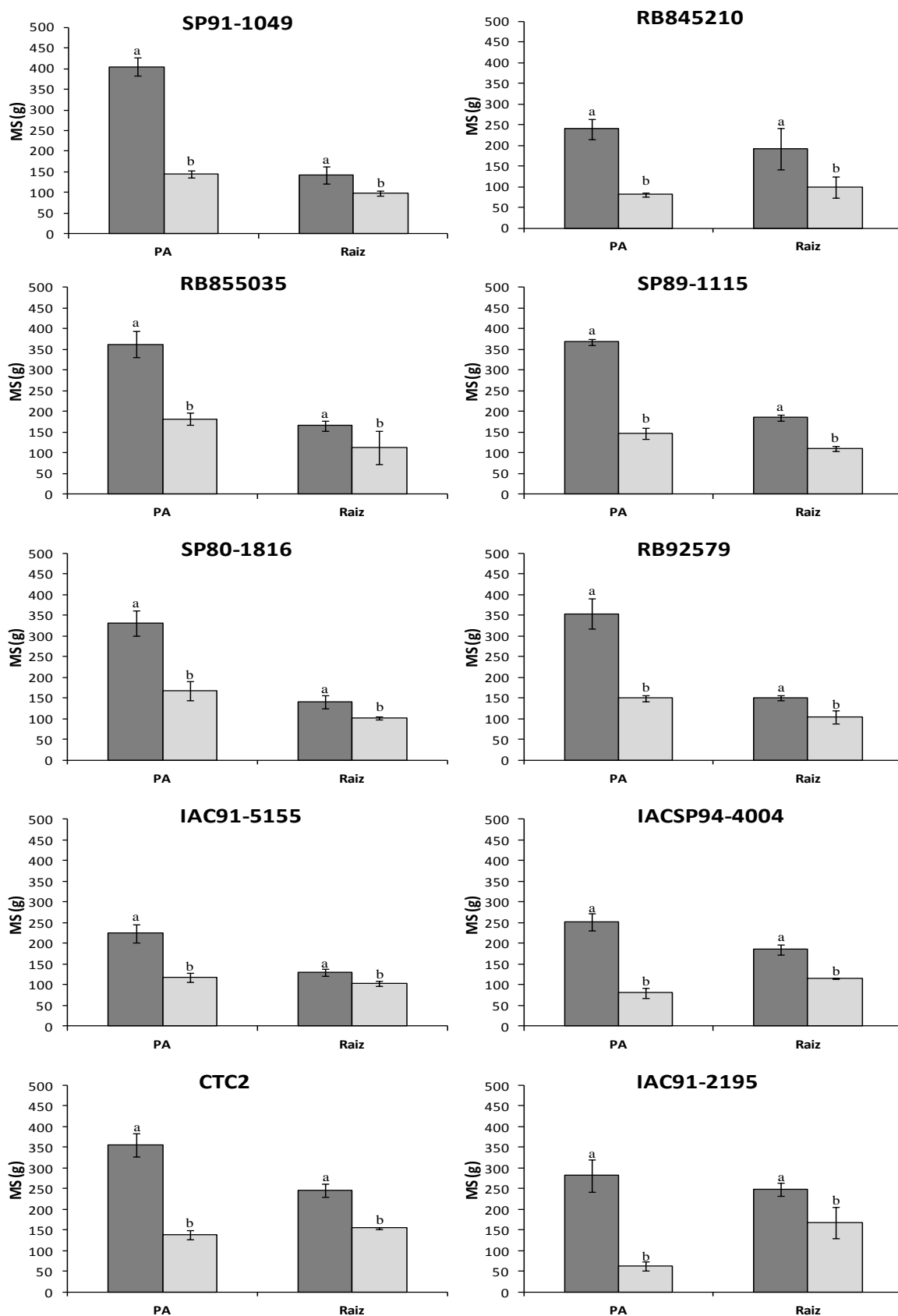


Figura 13. Massa de matéria seca da parte aérea (PA) e de raízes de dez cultivares de cana submetidas a regime hídrico adequado (+W, ■) e à deficiência hídrica (-W, □) aos 75 dias após o estabelecimento dos tratamentos.

6.4 Análise geral das cultivares

Após o estudo da resposta das dez cultivares nas 14 variáveis, fez-se a somatória das notas obtidas em cada variável estudada e gerou-se a tabela a seguir (Tabela 27), na qual as cultivares foram classificadas em Susceptíveis (0-9), Pouco tolerantes (10-13), Tolerância média (14-17), Muito tolerantes (18-21).

Tabela 27. Análise geral das cultivares com somatória das notas de todas as variáveis analisadas e classificação em níveis de tolerância à deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012

Cultivares/Variável	Total
SP91-1049	9
RB845210	6
RB855035	13
SP89-1115	14
SP80-1816	9
RB92579	18
IAC915155	15
IACSP94-4004	9
CTC2	21
IAC912195	6

Branco: até 9; Cinza bem claro: 10-13; Cinza médio: 14-17; Cinza escuro:18-21

Com este resultado é nítido a diferenciação entre as cultivares de acordo com seu grau de tolerância à deficiência hídrica, e assim, destacam-se as quatro cultivares mais tolerantes à deficiência hídrica, deste estudo, são: CTC2, RB92579, IAC91-5155 e SP89-1115, em ordem decrescente de tolerância.

6.5 Dissimilaridade genética e agrupamento por otimização de Tocher

Os melhoristas utilizam os métodos de agrupamento ou projeções de distâncias em gráficos bidimensionais, tomando por base as coordenadas obtidas a partir da medida de dissimilaridade genética escolhida (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Os métodos de agrupamento podem ser divididos em hierárquicos e de otimização. Entre os métodos de otimização mais utilizados na área de melhoramento vegetal destaca-se o de Tocher. Neste método adota-se o princípio de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos (CRUZ, 2005).

Primeiramente foram calculadas as matrizes de variâncias e covariâncias residuais de quatorze caracteres morfofisiológicos de dez cultivares de cana-de-açúcar, para viabilizar o cálculo da Distância de Mahalanobis (D^2) e esquematização da matriz de Mahalanobis, de dimensão 10 (Tabela 15), conforme metodologia descrita por Rao (1952). Na qual se pode observar que as maiores distâncias genéticas estão entre as cultivares 6 (RB92579) e 5 (SP80-1816), 8 (IACSP94-4004) e 3 (RB855035), e 5 (SP80-1816) e 3 (RB855035); e as menores entre 2 (RB845210) e 7 (IAC91-5155), 2 (RB845210) e 8 (IACSP94-4004), 6 (RB92579) e 9 (CTC2), e 7 (IAC91-5155) e 9 (CTC2) (Tabela 15).

Tabela 28. Matriz de dissimilaridade com base na distância de Mahalanobis (D^2) entre 10 genótipos de cana-de-açúcar, após 75 dias sob deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.

Genótipos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,00									
2	110,52	0,00								
3	160,40	282,00	0,00							
4	86,99	83,36	147,93	0,00						
5	75,72	148,86	302,09	154,10	0,00					
6	216,18	145,27	183,73	137,63	309,94	0,00				
7	131,77	52,11	213,82	102,29	199,81	82,58	0,00			
8	207,36	58,11	303,64	135,87	251,38	170,32	92,20	0,00		
9	92,99	112,31	117,83	86,23	204,33	64,10	64,79	174,76	0,00	
10	250,09	96,59	252,85	150,57	404,43	140,73	105,56	76,88	135,46	0,00

(1): SP91-1049; (2): RB845210; (3): RB855035; (4): SP89-1115; (5): SP80-1816; (6): RB92579; (7): IAC91-5155; (8): IACSP94-4004; (9): CTC2; (10): IAC91-2195

O cálculo da contribuição de cada variável morfológica ou fisiológica analisada neste experimento, bem como sua contribuição relativa ao cálculo da dissimilaridade genética revelam que a variável matéria seca da parte aérea foi responsável por 23,41% do valor calculado de dissimilaridade genética entre os acessos, seguido pelo conteúdo de clorofila via espectrofotômetro, com 15,12% de contribuição e na sequência de importância densidade estomática abaxial, estimativa de clorofila via unidade SPAD, potencial hídrico foliar, condutância estomática, número de folhas verdes, área foliar, matéria seca de raízes, densidade estomática adaxial, fluorescência da clorofila, conteúdo relativo de água, altura do colmo e por fim taxa de assimilação de CO_2 (Tabela 16).

Tabela 29. Contribuição relativa (CR) de 14 variáveis morfológicas e fisiológicas para o cálculo da dissimilaridade genética de 10 genótipos de cana-de-açúcar após 75 dias sob deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.

Variáveis	S.j	CR (%)
Matéria seca do colmo	1656,60	23,41
Conteúdo de clorofila	1070,40	15,12
Estômatos abaxial	692,63	9,79
Estimativa de clorofila - SPAD	683,05	9,65
Potencial hídrico	576,59	8,15
Condutância estomática	530,25	7,49
Folhas verdes	491,26	6,94
Área foliar	424,12	5,99
Matéria seca de raiz	225,56	3,19
Estômatos adaxial	189,42	2,68
Fv/Fm	154,73	2,19
Conteúdo relativo de água	153,99	2,18
Altura de colmo	131,54	1,86
Taxa de assimilação de CO ₂	96,38	1,36

S.j: Contribuição da variável X para o valor da distância de Mahalanobis entre os cultivares i e i' ; CR: Contribuição Relativa; Fv/Fm: Fluorescência da clorofila.

As informações obtidas através da matriz de dissimilaridade genética possibilitaram o agrupamento das 10 cultivares estudadas em 7 grupos distintos (Tabela 17). O método de Tocher é empregado como técnica de agrupamento por otimização e tem como princípio básico manter a homogeneidade dentro e heterogeneidade entre os grupos formados (SOUZA et al., 2011). Seguindo este princípio, os indivíduos do(s) último(s) grupo(s) apresentam maior divergência genética em relação aos dos primeiros grupos.

Tabela 30. Agrupamento por otimização de Tocher de dez genótipos de cana após 75 dias sob deficiência hídrica. Botucatu. SP. 2012.

Grupos	Genótipos
I	SP91-1049, SP80-1816
II	SP89-1115, CTC2
III	IACSP94-4004, IAC91-2195
IV	IAC91-5155
V	RB855035
VI	RB92579
VII	RB845210

Os três primeiros grupos, I, II e III foram constituídos de duas cultivares cada, e os grupos IV, V, VI e VII por apenas uma cultivar cada. O agrupamento das dez cultivares estudadas mostra os dois primeiros grupos (mais próximos entre si) com as três cultivares “SP” e também com a única cultivar CTC presente no experimento. Vale ressaltar que o programa de melhoramento de cana-de-açúcar “SP” (COPERSUCAR) passou a adotar a sigla CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) a partir de 2004, portanto podendo ser considerado o mesmo programa devido ao mesmo banco de germoplasma e mesmos métodos e objetivos de seleção de cultivares.

Já nos grupos III e IV, mais distantes dos dois primeiros porém mais próximos entre si estão as três cultivares “IAC” estudadas e os grupos V, VI e VII contemplam as três cultivares “RB”; evidenciando a distância genética entre os grupos e, conseqüentemente, entre os genótipos.

São muitas as finalidades do uso de medida de dissimilaridade genética e agrupamento por otimização de Tocher; os quais devem ser realizados visando o objetivo do cruzamento pretendido, que no caso deste trabalho foi identificar genótipos tolerantes à seca e distantes geneticamente para aumentar as chances de gerar uma descendência com alto potencial heterótico. Outros autores utilizaram o cálculo de distância genética e agrupamento de Tocher na seleção de cana-de-açúcar para produção de cachaça (CESAR, 2013), para tolerância à *Diatraea Saccharalis* (SOUZA et al., 2013), fitomelhoramento de cana-de-açúcar (DUTRA FILHO, 2011), melhoramento genético de feijão preto (ELIAS et al., 2007) e de soja em solo de várzea (ALMEIDA et al., 2011).

O grupo II contém duas cultivares avaliadas neste estudo como tolerantes, SP89-1115 e CTC2 respectivamente, e as outras duas tolerantes, de acordo com este estudo, são IAC91-5155 e RB92579 dos grupos IV e VI, respectivamente.

7 CONCLUSÕES

As variáveis morfológicas e fisiológicas da cana-de-açúcar foram eficientes em diferenciar cultivares tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica, com exceção da variável densidade estomática na face adaxial.

As variáveis matéria seca do colmo, teor de clorofila e densidade estomática na face abaxial foram os principais determinantes na quantificação da divergência genética. Apesar de toda a modernidade das análises fisiológicas, a variável matéria seca da parte aérea foi a que mais influenciou na diferenciação entre as cultivares.

Sob deficiência hídrica, as cultivares com maior produção de matéria seca da parte aérea foram RB855035, SP89-1115, SP80-1816, RB92579 e CTC2, as quais também se destacaram para a maioria das variáveis morfofisiológicas, evidenciando seu potencial produtivo em ambiente desfavorável.

A análise multivariada e o agrupamento genético foram úteis para distinguir entre as cv mais distantes geneticamente e propor os cruzamentos mais promissores, que são SP89-1115 e CTC2, ambas pertencentes ao II grupo, cruzadas com RB92579 ou IAC91-5155 dos grupos VI e IV respectivamente.

8 REFERÊNCIAS

- ABREU, M.L. et al. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p.262-270, 2013.
- ALFONSI, R. R.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.
- ALMEIDA, C.M.C.V.; DIAS, L.A.S.; OKABE, E.T.; MEDEIROS, J.R.P. Variability in genetic resources of cacao in Rondônia, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, n.3, p.318-324, 2005.
- ALMEIDA, L. P. **Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de *Cryptocarya aschersoniana* sob diferentes níveis de radiação**. 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 108-115, jan-mar, 2011.
- AMORIM, E.P.; RAMOS, N.P.; UNGARO, M.R.G.; KIIH, T.A.M. Divergência genética em genótipos de girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1637-1644, 2007.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do autor. 2002. 272 p.
- ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.
- ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; AKKASAENG, C.; VORASOOT, N.; KESMALA, T.; RAO, R. C. N.; WRIGHT, G. C.; PATANOTHAI, A. Chlorophyll stability is an

indicator of drought tolerance in peanut. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 113-125, 2008.

AZEVEDO NETO, A. D. et al. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2004.

BALDO, M. N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agrônômico do milho (*Zea mays* L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos**. 2007. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

BARBOSA, M.H.P. Study of genetic divergence in sugarcane varieties grown in Brazil using the parentage coefficient. **International Sugar Journal**, v.103, n.1231, p.294-295, 2001.

BATAGIN, K. D. **Análise anátomo-fisiológicas de folhas de pupunheiras cultivadas in vitro, ex vitro e in vivo visando otimizar o protocolo de aclimação**. 2008. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.

BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, Beltsville, v. 56, p. 187-218, 1996.

BRASIL. Empresa de Pesquisa. **Potencial de redução de emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de biocombustíveis**. Brasília, 2005. 66 p.

BRESTIC, M.; CORNIC, G.; FRYER, M. J.; BAKER, N. R. Does photorespiration protect the photosynthetic apparatus in French bean leaves from photoinhibition during drought stress? **Planta**, Heidelberg, v. 196, n. 3, p. 450-457, 1995.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento de plantas: princípios e procedimentos**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila A: considerações teóricas e aplicações práticas**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_1112121492.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2010.

CARLESSO, R. **Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments**. East Lansing - Michigan. 253 p. Tese (Doutorado) - Michigan State University, 1993

CARLIN, S. D. **Mecanismos fisiológicos de cana-de-açúcar sob efeito da interação dos estresses hídrico e ácido no solo**. 2009. 118f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção

Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 553-564, 2012.

CARPENTIERI-PIPOLO, V.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C.; GONZALES, M. G. N.; POPPER, I.; ZANATTA, S.; SILVA, F. A. M. Seleção de genótipos parentais de acerola com base na divergência genética multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1613-1619, 2000.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138 p.

CAVATTE, P. C. A fisiologia dos estresses abióticos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 39-79.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551-560, 2009.

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.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**. Terceiro levantamento, dezembro de 2013. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. 20 p.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005. 394 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows - 2007, Viçosa, UFV.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2006. 442 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 585 p.

DA MATTA, F. M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 04, p. 485-510, 2007.

DA MATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, n. 01, p. 1-6, 2004.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In.: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. 1987. p. 7-84.

DAVIES, W. J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytologist**, Lancaster, v. 153, n. 3, p. 449-460, 2002.

DOMAINGUE, R. Family and varietal adaptation of sugarcane to dry conditions and relevance to selection procedures. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 21., 1996, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: ISSCT, 1996. p. 418-435.

DUCRUET, J. M. Chlorophyll thermoluminescence of leaf discs: simple instruments and progress in signal interpretation open the way to new ecophysiological indicators. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 392, p. 2419-2430, 2003.

DUTRA FILHO, J. A.; BASTOS, G. Q.; RESENDE, L. V.; MELO, L. J. O. T. Avaliação agroindustrial e dissimilaridade genética em progênies e variedades RB de cana-de-açúcar. **Agropecuária Técnica**, João Pessoa, v.32, p. 55-61, 2011.

DUTRA FILHO, J. A.; MELO, L. J. O. T.; RESENDE, L. V.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J.; BASTOS, G. Q. Aplicação de técnicas multivariadas no estudo da divergência genética em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 185-192, jan-mar, 2011.

ELIAS, H. T., Maria Celeste Gonçalves Vidigal, Adriana Gonela e Gilcimar Adriano Vogt. **Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.10, p.1443-1449, out. 2007.

ENNAHLI S.; EARL H. J. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. **Crop Science**, v. 45, p. 2374-2382, 2005.

FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, v. 13, p. 178, 1992.

GLAZ, B.; MORRIS, D. R.; DAROUB, S. H. Sugarcane photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance due to flooding and water table. **Crop Science**, v.44, p.1633-1641, 2004.

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

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

- GRAÇA, J. P. **Avaliação de parâmetros fisiológicos em cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico.** 2009. 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- GRISI, F. A. *et al.* Avaliações anatómicas foliares em mudas de café ‘Catuai’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 06, p. 1730-1736, 2008.
- HERMANN, E.R.; G.M.S. CÂMARA. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 17, p. 32-34, 1999.
- HOLANDA, L. A. **Resposta varietal da cana-de-açúcar à deficiência hídrica, durante o desenvolvimento inicial em um latossolo vermelho distroférrico.** 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- HSIAO, T.C.; XU, L.K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, v.51, p.1595-1616, 2000.
- INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N.G. *et al.* Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*, South Africa, v. 59, p. 13-26, 2008.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficit. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.
- JAMAUX, I.; STEINMETZ, A.; BELHASSEN, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. **New Phytologist**, v. 137, p. 117-127, 1997.
- JIFON, J.L.; SYVERTSEN, J.P.; WHALEY, E. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in *Citrus* sp. leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 130, p. 152-158, 2005.
- KOUWENBERG, L. L. R.; KÜRSCHNER, W. M.; VISSCHER, H. Changes in stomatal frequency and size during elongation of *Tsuga heterophylla* Needles. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94, p. 561-569, 2004.
- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Physiology of woody plants. San Diego: **Academic Press**, San Diego, 1997. 657 p.
- LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; PINTO, L. R.; CRESTE, S. Potencialidade de novas variedades de cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; AZANIA, A. A. P. M.; TASSO JUNIOR, L. C.;

NOGUEIRA, G. A.; VALE, D. W. (Ed.). **Tópicos em Tecnologia Sucroalcooleira**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2006. p. 17-30.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531 p.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 335-340, 2004.

LOPES, J. L. W. Qualidade de mudas clonais do híbrido *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos. 2008. 171 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

MACHADO, E.C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria-seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1981. 115p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

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*, v.44, p.1575-1582, 2009.

MAHALANOBIS, P. C. On the generalized distance statistic. *Proceedings of the National Institute*, v.2, n.1, p. 9-55, 1936.

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

MANSUR, R. J. C. N.; BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, Buenos Aires, n. 68, p. 97-106, 2000.

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

MAZUMDAR, R.K.; CHAKIDER, B.P.; MUKHERJEE, S.K. Selection and classification of mango root stocks in the nursery stage. **Acta Horticultural**, v. 24, p. 101-106, 1969.

MELO, H.C.; CASTRO, E.M.; SOARES, A.M.; MELO, L.A.; ALVES, J.D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico **Hoehnea** 34(2): 145-153, 3 tab., 2007.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e Morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415p.

- NASCIMENTO, E. A. *et al.* Alterações morfofisiológicas em folhas de café (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, p. 852-857, 2006.
- NEVES, M. F.; TROMBINI, V. G.; CONSOLI, M. **Mapeamento e quantificação do setor sucroenergético em 2008**. Ribeirão Preto: Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia da USP, 2009. 34 p
- NOGUEIRA, R. J. M. C. ; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1331-1342, 2000.
- 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, p. 681-687, 2006.
- OLIVEIRA, R. A. *et al.* Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. **Scientia Agrária**, v. 09, n. 03, p.269-274, 2008. p. 429-436, 2008.
- OREN, R. *et al.* Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded *Taxodium distichum* L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects. **Oecologia**, n. 126, p. 21-29, 2001.
- PALOMINO, E. C.; MORI, E. S.; ZIMBACK, L.; TAMBARUSSI, E. V.; MORAES, C. B. Genetic diversity of common bean genotypes of Carioca commercial group using RADP markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, n.1, p.80-85, 2005.
- PARSONS, L. R.; BANDARANAYAKE, W. N. Performance of a new capacitance soil moisture probe in sandy soil. **Soil and Water Management & Conservation**, Florida, v. 73, n. 4, p. 1378-1385, 2009.
- PEDROZO, C. A. *et al.* Eficiência de Índices de seleção utilizando a metodologia REML/BLUP no melhoramento da cana-de-açúcar. **Scientia Agrária**, v. 10, n. 01, p. 031-036, 2009.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.
- PINCELLI, R. P., SILVA, M. A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 546-556, 2012.
- PINCELLI, R. P. **Tolerância a deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- PORRA, R.J.; THOMPSON, W.A.; KRIEDEMANN, P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll

standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 975, p. 384-394, 1989.

QUEIROZ, R. J. B. **Quantificação da trealose e da prolina livre em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

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 & Crop Science**, v.185, p.83-89, 2000.

RAO, R. C. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: J. Wiley, 1952. 390 p.

ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, v. 964, p. 211-227, 1999.

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

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

SANTOS, M. A. L. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

SCARPARI, M. S. **PREDPOL: um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 2007. 120 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SCHLEMMER, M. R.; FRANCIS, D. D.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agronomy Journal**, Cornell, v. 97, p. 106-112, 2005.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415p.

SHIMOYA, A. *et al.* Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim-elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 07, p. 971-980, 2002.

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

SILVA, G. C.; OLIVEIRA, F. J.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J.; SIMÕES. Divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, vol. 6, n. 1, p. 52-58, 2011

SILVA, M. A. et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

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.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters to detect differences in drought tolerance among sugarcane genotypes. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 26., 2007, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 2007a. p. 541-547.

SILVA, M. A. et al. Evaluation of physiological parameters as indicators of drought tolerance in sugarcane. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBFV, 2007b. CD-ROM.

SILVA, M. A. et al. Differential physiological responses to water deficit stress among sugarcane genotypes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11., 2007. Gramado. **Anais...** Gramado: SBFV, 2007c. CD-ROM.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, p. 193-201, 2007d.

SILVA, P.P.; et al. Diversidade genética em cana-de-açúcar baseada em caracteres morfoagronômicos e marcadores moleculares RAPD. In: **Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, 4., 2007, São Lourenço.

SINCLAIR, T. R.; LUDLOW, M. M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, Victoria, v. 12, p. 213-17, 1985.

SINGH, S.; REDDY, M.S. Growth, yield and juice quality performance of sugarcane varieties under different soil moisture regimes in relation to drought resistance. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17., Manila, 1980. **Proceedings**. Manila: ISSCT, 1980. p.541-555.

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

SNEATH, P.H., SOKAL, R.R. Numerical Taxonomy: the principles and practice of numerical classification. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573p.

SOKAL, R.R.; MICHENER, D. A statistical method for evaluation systematic relationships. University of Kansas **Scientific Bulletin**, n.38, p.1409-1438, 1958.

SUDRÉ, C. P. et al. Divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão utilizando técnicas multivariadas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 01, p. 22-27, 2005.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: Avaliação do Modelo Mosaic**. 2006. 60p. Tese de doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAVARES, A. C. S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ao excesso de água no solo**. 2009, 220 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

TESTER, M.; BACIC, A. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. **Plant Physiology**, v.137, p.791- 793, 2005.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, v.153, p. 376-387, 1981.

WAGIH, M.E.; KAIULO, J.V. Screening sugarcane varieties for drought tolerance. **Science in New Guinea**, v. 26, p.38-45, 2001.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C. et al. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*, Madison, v.80, p.859-864, 1988.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, special issue, p.187-206, 2003.