

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

**RESPOSTA VARIETAL DA CANA-DE-AÇÚCAR À DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA, DURANTE O DESENVOLVIMENTO INICIAL EM UM  
LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO.**

**LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA**

Dissertação apresentada à Faculdade  
de Ciências Agrônômicas da Unesp –  
Campus de Botucatu, para a obtenção  
do título de Mestre em Agronomia,  
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP  
JULHO de 2012

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

**RESPOSTA VARIETAL DA CANA-DE-AÇÚCAR À DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA, DURANTE O DESENVOLVIMENTO INICIAL EM UM  
LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO.**

**LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA**

Orientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa  
Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Dissertação apresentada à Faculdade  
de Ciências Agronômicas da Unesp –  
Campus de Botucatu, para a obtenção  
do título de Mestre em Agronomia,  
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP  
JULHO de 2012

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

H722r Holanda, Lucas Almeida de, 1987-  
Resposta varietal da cana-de-açúcar à deficiência hídrica, durante o desenvolvimento inicial em um latossolo vermelho distroférico / Lucas Almeida de Holanda. - Botucatu : [s.n.], 2012  
xii, 66 f. : gráfs. (alguns color.), tabs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Antônio de Pádua Sousa  
Co-orientador: Marcelo de Almeida Silva  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Fisiologia. 2. Cana-de-açúcar - Morfologia. 3. Cultivares. 4. Plantas - Efeito da seca. I. Sousa, Antônio de Pádua. II. Silva, Marcelo de Almeida. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

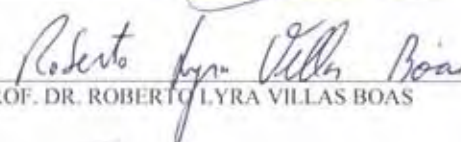
TÍTULO: "RESPOSTA VARIETAL DA CANA-DE-AÇÚCAR À DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA DURANTE O DESENVOLVIMENTO INICIAL EM UM  
LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO"

ALUNO: LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. MARITANE PRIOR

Data da Realização: 31 de julho de 2012.

Aos meus pais José Clóvis Teixeira de Holanda e Célia Maria Vieira Almeida, que me dão grande incentivo e apoio para continuar essa jornada.

Ao meu irmão Victor Almeida de Holanda

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as oportunidades que me dá.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa, por toda a amizade, ajuda, apoio, bons conselhos e pelas ótimas conversas.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela grande contribuição que deu para o meu mestrado e pelo amigo que se tornou.

A Claudiana Moura Santos, pela amizade e pela grande ajuda que deu no meu experimento.

Aos amigos e companheiros de trabalho Rodrigo Oliver, Marcela Brunelli, Renata Pincelli, Paula Sorrila por todo o apoio e ajuda que deram.

Aos amigos e companheiros de república Givaldo Neto, Gabriel Lyra, Rômulo Pimentel, Magno Luiz, Elizeu e Anderson Ravanny, por todos os bons momentos que me proporcionaram, pelo apoio que deram nos momentos difíceis e por serem minha família em Botucatu.

Ao Prof. Dr. Iêdo Teodoro, por todo apoio e bons conselhos.

A todos os amigos que fiz durante o mestrado, o que seria injusto citar o nome de um sem citar todos, e graças a Deus foram muitos, pelo companheirismo, amizade e a oportunidade de conhecer tantas culturas.

A todos os professores e funcionários da FCA – UNESP/Botucatu, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Aos amigos Tião, Santana, Nando, Sandra, João Paraíba, Boy, por ter me acolhido no seu ciclo de amizade e por me fazer sentir em casa (Nordeste).

A CAPES, pelo auxílio financeiro.

A Usina da Barra, na figura de Sr. Sebastião, por ter cedido o material vegetal para o experimento, meus agradecimentos.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	VIII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	X
<b>1 RESUMO</b> .....	1
<b>2 SUMMARY</b> .....	2
<b>3 INTRODUÇÃO</b> .....	4
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	6
4.1 Aspectos gerais da cana-de-açúcar.....	6
4.2 O estresse hídrico.....	7
4.3 Respostas da cana-de-açúcar a deficiência hídrica.....	7
4.3.1 Crescimento.....	8
4.3.2 Pigmentos fotossintéticos e Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II.....	9
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	11
5.1 Localização do experimento.....	11
5.2 Material vegetal utilizado.....	11
5.2.1 RB855453.....	12
5.2.2 RB92579.....	12
5.2.3 RB965902.....	12

5.2.4 RB965917.....	12
5.3 Tratamentos e condução do experimento.....	13
5.4 Avaliações Morfológicas e Fisiológicas.....	14
5.4.1 Avaliações morfológicas.....	14
5.4.1.1 Altura da planta.....	14
5.4.1.2 Comprimento e largura da folha +3, número de folhas verdes e área foliar.....	14
5.4.2 Avaliações fisiológicas.....	15
5.4.2.1 Condutância estomática (gs).....	15
5.4.2.2 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm).....	16
5.4.2.3 Índice SPAD.....	17
5.4.2.4 Conteúdo de clorofila total por espectrofotômetro (CC a+b).....	17
5.4.2.5 Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ).....	18
5.4.3 Massa de matéria seca.....	19
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
6.1 Condições Ambientais.....	20
6.2 Variáveis morfológicas.....	23
6.2.1 Altura da planta.....	26
6.2.2 Área foliar.....	27
6.2.3 Comprimento e largura da folha.....	29
6.2.4 Número de folhas verdes.....	32



6.3 Variáveis fisiológicas.....	35
6.3.1 Conteúdo de clorofila total.....	37
6.3.2 Índice SPAD.....	39
6.3.3 Potencial hídrico foliar.....	40
6.3.4 Condutância estomática.....	42
6.3.5 Máxima eficiência fotoquímica do PSII.....	49
6.4 Matéria seca da parte aérea e das raízes.....	57
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química dos macronutrientes do solo.....	13
Tabela 2. Análise química dos micronutrientes do solo.....	14
Tabela 3. Análise física do solo.....	14
Tabela 4. Curva característica de retenção de água no solo.....	14
Tabela 5. Análise de variância da altura da planta (AP), área foliar (AF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e número de folhas (NF) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....	23
Tabela 6. Análise de variância da altura da planta (A.P), área foliar (A.F), comprimento da folha (C.F), largura da folha (L.F) e número de folhas (N.F) em cana-de-açúcar, sob efeito de variedade e regime hídrico, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....	24
Tabela 7. Análise de variância da altura da planta (AP), área foliar (AF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e número de folhas (NF) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....	25
Tabela 8. Análise de variância do conteúdo de clorofila total ( $CC\ a + b$ ), estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....	35
Tabela 9. Análise de variância do conteúdo de clorofila total ( $CC\ a + b$ ), estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....	36
Tabela 10. Análise de variância do conteúdo de clorofila total ( $CC\ a + b$ ), estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....	37

- Tabela 11. Análise de variância da condutância estomática em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....43
- Tabela 12. Análise de variância da condutância estomática em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....45
- Tabela 13. Análise de variância da condutância estomática em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....48
- Tabela 14. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....51
- Tabela 15. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....53
- Tabela 16. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....55
- Tabela 17. Análise de variância de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....58

**LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1. Medida da condutância estomática em cana-de-açúcar com o porômetro (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA).....16
- Figura 2. Presilha para adaptação da folha ao escuro e fluorômetro.....16
- Figura 3. Medida do índice SPAD em folha de cana-de-açúcar.....17
- Figura 4. Extração dos discos foliares de cana-de-açúcar e recipientes para extração da clorofila com ácido.....18
- Figura 5. Medida do potencial hídrico em folha de cana-de-açúcar com uma câmara de pressão.....18
- Figura 6a. Temperatura média, máxima e mínima dentro da casa de vegetação, 5 de janeiro de 2011 a 7 de abril de 2011, em Botucatu – SP.....21
- Figura 6b. Umidade relativa média, máxima e mínima, dentro da casa de vegetação, 5 de janeiro de 2011 a 7 de abril de 2011, em Botucatu – SP.....21
- Figura 7. Tensão da água no solo, em vasos, no tratamento sem estresse hídrico (W+) e com estresse hídrico (W-), de 5 de janeiro de 2011 a 7 de abril de 2011, em Botucatu - SP.....22
- Figura 8. Altura da planta de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....27
- Figura 9. Área foliar de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....29
- Figura 10. Comprimento da folha de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....31

- Figura 11. Largura da folha de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....32
- Figura 12. Número de folhas verdes de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....34
- Figura 13. Conteúdo de clorofila total em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....38
- Figura 14. Estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....40
- Figura 15. Potencial hídrico foliar em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....43
- Figura 16. Medidas de DPV, radiação fotossintética ativa, temperatura e umidade do ar as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico.....43
- Figura 17. Condutância estomática em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....44
- Figura 18. Medidas de DPV, radiação foto, temperatura e umidade do ar as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico.....46
- Figura 19. Condutância estomática em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....46
- Figura 20. Medidas de DPV, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura e umidade do ar as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dia após o início do estresse hídrico.....48
- Figura 21. Condutância estomática em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....49

- Figura 22. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....52
- Figura 23. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....54
- Figura 24. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.....56
- Figura 25. Matéria seca da parte aérea de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, aos 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.....59
- Figura 26. Matéria seca das raízes de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, aos 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu –SP.....60

## 1 RESUMO

Devido ao aumento na demanda por etanol combustível, principalmente por causa dos veículos bicombustível, há uma expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar para ambientes menos favoráveis para o desenvolvimento da cultura, com períodos de déficit hídrico maiores e mais intensos. O estresse hídrico está entre os fatores que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola. Mesmo a cana-de-açúcar sendo uma cultura com resistência moderada à seca, tem grandes perdas de produtividade por causa da mesma. Por isso, a seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico pode representar uma alternativa para diminuir a quantidade de água utilizada na irrigação, mantendo ou aumentando a produtividade. Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de conhecer o comportamento de quatro cultivares de cana-de-açúcar durante o desenvolvimento inicial, sob condições de deficiência hídrica, por meio de variáveis morfológicas e fisiológicas, visando auxiliar na seleção de genótipos mais tolerantes à seca no sentido de promover diminuição de gastos com irrigação sem prejuízos econômicos à cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP/Botucatu - SP, entre os dias 26/11/2010 a 05/04/2011. Foram avaliadas quatro cultivares de cana-de-açúcar (RB855453, RB92579, RB965902 e RB965917), em seu desenvolvimento inicial, em um tratamento controle (100% da capacidade de campo) e com déficit hídrico (50% da capacidade de campo). As avaliações foram feitas em três datas diferentes (0, 28 e 63 dias após a aplicação do tratamento). Foram analisadas variáveis morfológicas: altura da planta; área foliar; comprimento da folha; largura da folha; número de folhas verdes, variáveis fisiológicas: conteúdo de clorofila total; conteúdo de clorofila via índice SPAD; potencial hídrico da folha; condutância estomática; máxima eficiência fotoquímica do PSII, e matéria seca da parte aérea e das raízes. As cultivares RB855453 e RB92579 tiveram melhores resultados de matéria seca da parte aérea e das raízes no tratamento com estresse hídrico, podendo ser consideradas tolerantes. As cultivares RB965902 e RB965917 tiveram menor produção de matéria seca da parte aérea e das raízes sob estresse hídrico, podendo ser consideradas suscetíveis.

Palavras chave: Cultivar, seca, características morfológicas, características fisiológicas.

VARIETAL RESPONSE OF SUGARCANE TO WATER DEFICIT DURING THE INITIAL DEVELOPMENT. Botucatu, 2012. 56 p. Dissertação (Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA

Adviser: ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Co-Adviser: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

## **2.SUMMARY**

Due to increase in demand for ethanol fuel, mainly because of the flex-fuel vehicles, there is an expansion of areas planted with sugarcane to less favorable environments for the crop development, with major and more intense episodes of drought. Water stress is among the factors that limit growth and agricultural productivity. Even the sugarcane being a crop with moderate resistance to drought, it has high yield losses because of it. Therefore, the selection of tolerant genotypes to water stress may represent an alternative to reduce the amount of water used for irrigation, while maintaining or increasing productivity. This work was developed in order to understand the behavior of four sugarcane cultivars during the initial development under water stress conditions by means of morphological and physiological variables, aiming the selection of tolerant genotypes to drought to promote reduction of spending on irrigation without economic damage to the crop. The experiment was carried out in a greenhouse at the Department of Rural Engineering, College of Agricultural Sciences - UNESP / Botucatu - SP, between 11/26/2010 to 04/05/2011. We evaluated four sugarcane varieties (RB855453, RB92579, RB965902 and RB965917) in its initial development under two treatments, i.e., in a control (100% of field capacity) and drought (50% of field capacity). Evaluations were made on three different dates (0, 28 and 63 days after treatment application). The morphological variables plant height, leaf area, leaf length, leaf width, number of green leaves, and the physiological variables total chlorophyll content, chlorophyll content through SPAD index, leaf water potential, stomatal conductance, maximum quantum yield of PSII, as well dry matter production of shoots and roots were analyzed. The cultivars RB855453 and RB92579 had better results of dry matter production of shoots and roots in the treatment with water stress, which can be considered tolerant. The cultivars RB965902 RB965917 had lower dry matter production of shoots and roots under water stress, which may be considered susceptible.



Keywords: Cultivars, drought, morphological characteristics, physiological characteristics.

### 3 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento na demanda por etanol combustível, principalmente por causa dos veículos bicombustível, há uma expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar para ambientes menos favoráveis para o desenvolvimento da cultura. Essas áreas, na maioria das vezes, são predominantemente ocupadas por pastagens e possuem um inverno seco, com períodos de deficiência hídrica maiores e mais intensos do que os já ocupados pela cultura (LANDELL et al., 2010).

O estresse hídrico afeta principalmente regiões sem irrigação e com má distribuição pluviométrica, como exemplo da região canavieira do Nordeste e a maior parte das áreas de cerrado. O estresse hídrico está entre os fatores que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola. Mesmo a cana-de-açúcar sendo uma cultura com resistência moderada a seca (MAAS & HOFFMAN, 1977), tem grandes perdas de produtividade em períodos de estiagem.

A cana-de-açúcar, quando submetida a deficiência hídrica, apresenta várias alterações morfofisiológicas, como: diminuição da condutância estomática, enrolamento da folha, redução da área foliar, redução da transpiração, redução da fotossíntese

(comprometimento das etapas fotoquímicas e bioquímicas), aumento da condutividade hidráulica das raízes, etc (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005). Parte dessas respostas são mecanismos para evitar a perda de água, ou seja, de tolerância a seca (KRAMER, 1980).

O uso de técnicas que avaliem os efeitos morfológicos e fisiológicos do déficit hídrico de forma rápida e não destrutiva, podem ser de grande utilidade para a seleção de genótipos tolerantes a seca (O`NEILL et al. 2006).

O uso de variedades mais adaptadas aos sistemas de produção (cultivo de sequeiro ou irrigado) pode representar ganhos de até 30% na produtividade agroindustrial dos canaviais (BARBOSA et al., 2000). Para cada tipo de sistemas de cultivos existem genótipos mais responsivos, por isso as pesquisas com finalidades de identificar cultivares mais rústicas e resistentes ao estresse hídrico são de grande importância para a sustentabilidade das agroindústrias canavieiras.

O uso da irrigação é uma das alternativas para diminuir os efeitos do déficit hídrico, contudo nem sempre essa alternativa é viável, seja por escassez de recursos hídricos, custo elevado de implantação e manutenção ou por questões ambientais. Por isso, a seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico pode representar uma alternativa para diminuir a quantidade de água utilizada na irrigação, mantendo ou aumentando a produtividade. Portanto, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de conhecer o comportamento de quatro cultivares de cana-de-açúcar durante o desenvolvimento inicial, sob condições de deficiência hídrica, por meio de variáveis morfológicas e fisiológicas, visando auxiliar na seleção de genótipos mais tolerantes à seca no sentido de promover diminuição de gastos com irrigação sem prejuízos econômicos à cultura.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Aspectos gerais da cana-de-açúcar**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção de aproximadamente 560 mil toneladas na safra 2011/2012 e uma área plantada de 7,9 milhões de hectares em 2010 (UNICA, 2012). Esses números colocam o país em posição de destaque em relação a produção de energia renovável, principalmente no que se refere a bioeletricidade e biocombustíveis. Produtos derivados da cana-de-açúcar correspondem por um quinto da energia produzida no Brasil (UNICA, 2012), principalmente o bagaço e o etanol. Com o aumento da pressão pela utilização de energias renováveis e ao mesmo tempo pela preservação ambiental, a melhoria das características agronômicas da cana-de-açúcar, principalmente em ambientes restritivos, é de grande importância para a sustentabilidade do setor sucroenergético.

O aumento na demanda por combustíveis renováveis, principalmente o etanol nos carros com motor bicombustível, tem levado à expansão das lavouras de cana-de-açúcar para ambientes menos favoráveis para a cultura, com invernos secos e períodos de deficiência hídrica mais longos e mais intensos, como por exemplo, o oeste de São Paulo,

cerrado do Triângulo Mineiro, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (LANDELL, et al. 2010). A maior parte dessas áreas, se ocupadas com variedades não adaptadas a essas condições, podem ter baixas produtividades e até mesmo serem inviáveis para a produção de cana-de-açúcar.

O estresse hídrico afeta principalmente regiões sem irrigação e com má distribuição pluviométrica, como exemplo da região canavieira do Nordeste e a maior parte das áreas de cerrado. O estresse hídrico está entre os fatores que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola. Mesmo a cana-de-açúcar sendo uma cultura com resistência moderada a seca (MAAS & HOFFMAN, 1977), tem grandes perdas de produtividade por causa da mesma.

#### **4.2 O estresse hídrico**

O estresse hídrico é a mudança significativa das condições ideais de cultivo das plantas, impedindo-as de expressar todo seu potencial genético de crescimento, desenvolvimento e produção (SHAFI-UR-REHMAN, et al., 2005). Existem três respostas básicas das plantas ao estresse hídrico: escape a seca, observado em culturas que terminam seu ciclo antes que o déficit hídrico se torne severo; retardo do déficit hídrico, quando planta retarda a desidratação através da redução da perda de água por transpiração, principalmente pelo fechamento estomático; tolerância a seca, quando a planta mantém seu metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico, através do acúmulo de solutos, proteínas e da capacidade antioxidante (TARDIEU, 2005). A resposta das plantas ao estresse é influenciada pela sua duração, severidade e frequência, bem como as partes afetadas da planta, estágio de desenvolvimento e genótipo (FRITSCHÉ-NETO et al, 2011).

#### **4.3 Respostas da cana-de-açúcar a deficiência hídrica**

A cana-de-açúcar, quando submetida à deficiência hídrica, apresenta várias alterações morfofisiológicas, como: diminuição da condutância estomática, enrolamento da folha, redução da área foliar, redução da transpiração, redução da fotossíntese (comprometimento das etapas fotoquímicas e bioquímicas), aumento da condutividade

hidráulica das raízes, etc (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005). Parte dessas respostas são mecanismos para evitar a perda de água, ou seja, de tolerância a seca (KRAMER, 1980). A cana-de-açúcar possui uma necessidade hídrica de 1500 a 2500 mm, bem distribuídos.

#### **4.3.1 Crescimento**

As principais alterações que o déficit hídrico ocasiona na planta são a redução da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas (MCCREE & FERNÁNDEZ, 1989 e TAIZ & ZEIGER, 2004). Todas essas alterações têm o objetivo de diminuir a superfície transpirante da planta e dessa forma evitar a perda de água para a atmosfera.

O crescimento da célula é considerado um dos processos mais sensíveis ao déficit hídrico no solo, com a divisão e expansão celular sendo diretamente inibidas pelo estresse hídrico (SAUSEN, 2007). O teor de água no solo está fortemente relacionado com a elongação e crescimento celular, dessa forma, o maior crescimento da cultura está ligado ao aumento da disponibilidade hídrica do solo (SILVA, 2010). Em estudo realizado em cana-de-açúcar sob déficit hídrico foi observada redução no alongamento do colmo e menor desenvolvimento foliar (INMAN-BAMBER, 2004).

A redução do crescimento é considerada como uma característica adaptativa para a sobrevivência da cultura, pois permite direcionar assimilados e energia, antes utilizados para o crescimento do caule, em moléculas protetoras para combater o estresse e/ou para manter o crescimento da raiz, para a absorção de água (SAUSEN, 2007). Os componentes biométricos ligados a produtividade de colmos, podem ser um bom indicador de tolerância ao estresse hídrico (LANDELL, 2010).

A área foliar é um importante fator de produção, pois é fundamental para uma maior interceptação de luz solar e acúmulo de biomassa, sendo que o lento desenvolvimento das folhas pode limitar a produção da cultura (INMAN-BAMBER, 1994), e o maior desenvolvimento da área foliar na fase inicial pode ter grande influência no fechamento mais rápido do dossel e de maior quantidade de luz solar interceptada (SINCLAIR et al., 2004).

Em situações de déficit hídrico, ocorre redução na área foliar, pois uma menor área foliar permite menor perda de água por transpiração, o que caracteriza um meio de

proteção da planta (TAIZ e ZEIGER, 2004). A planta pode perder área foliar pela redução do tamanho individual das folhas, como também pela senescência e redução no aparecimento de novas folhas (SILVA, 2005).

O número de folhas verdes depende tanto do aparecimento de novas folhas, quanto da velocidade de senescência das folhas mais velhas. Em ambientes de alta demanda evaporativa, os dois fatores influenciam o número de folhas verdes, já em ambientes com baixa demanda evaporativa, a senescência contribui mais do que o aparecimento de folhas novas, dessa forma o número de folhas verdes pode ser um bom indicador de estresse hídrico (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005).

#### **4.3.2 Pigmentos fotossintéticos e Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II.**

A clorofila (a e b) é o pigmento fotossintético mais abundante do planeta, com uma produção anual estimada em  $1 \times 10^9$  toneladas (HENDRY & PRICE, 1993). É o principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa utilizada no processo de fotossíntese, constitui um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética de plantas e conseqüentemente ao crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (RÊGO e POSSAMAI, 2004).

Cultivares tolerantes de cana-de-açúcar apresentaram menor redução de teor de clorofila total quando comparada com as sensíveis, em potenciais hídricos mais baixos (PINCELLI, 2010). Outros trabalhos também verificaram alta redução de pigmento fotossintético em plantas de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica (CHA-UM; KIRDMANEE, 2009; CARLIN et al., 2012), o que indica que a deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis pela perda de pigmentos nas folhas de cana-de-açúcar.

A energia luminosa utilizada na fotossíntese é absorvida pelos pigmentos fotossintéticos (clorofila a e b e carotenoides). Quando uma luz branca, como a do sol, atinge as clorofilas, é absorvida nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e vermelho. A luz verde não é absorvida e sim refletida, o que explica a coloração verde desses pigmentos (LICHTENTHALER, 1987).

Quando as moléculas de clorofila absorvem energia luminosa (fótons) alteram suas configurações eletrônicas, passando para um estado mais excitado (nível de energia mais alto), que é muito instável. Após receberem a energia dos fótons, dissipam essa

energia de três formas: dissipação fotoquímica; fluorescência e dissipação não fotoquímica (CAMPOSTRINI, 1997).

*Dissipação fotoquímica:* é a utilização da energia luminosa nos processos fotoquímicos da fotossíntese, onde ocorre a doação do elétron proveniente da molécula de água para o acceptor NADP (Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato).

*Fluorescência:* emissão da radiação em comprimentos de onda visíveis (vermelho e vermelho distante)

*Dissipação não fotoquímica:* é a dissipação na forma de calor, como radiação infravermelha.

Esses três processos de dissipação são competitivos, assim, alterações nas taxas fotossintéticas e na dissipação do calor causarão alterações na fluorescência, da mesma forma, alterações na fluorescência podem indicar comprometimento no processo fotossintético (CAMPOSTRINI, 1997)

Com a adaptação do tecido fotossintético ao escuro, cerca de 15 a 30 minutos (LARCHER e CERNUSCA, 1985), a fase bioquímica da fotossíntese fica desativada, dessa forma, quando é aplicado um pulso de luz saturante, as moléculas de clorofila se excitam, porém os aceptores de elétrons não estão aptos para recebê-lo, assim, essa energia é dissipada em forma de fluorescência e de calor (CAMPOSTRINI, 1997).

A fluorescência pode ser medida por um fluorímetro. Esse aparelho fornece várias medidas, entre elas a máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), que é um bom indicador do dano fotoinibitório quando as plantas estão sob efeito de estresse, como frio (BAKER et al., 1983) e seca (ÖGREN E ÖQUIST, 1985).



## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Localização do experimento**

O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Botucatu - SP, no período entre 26/11/2010 e 05/04/2011, totalizando 130 dias. O experimento consistiu na avaliação do desenvolvimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar, com e sem estresse hídrico, em casa de vegetação

### **5.2 Material vegetal utilizado**

As variedades utilizadas foram RB855453, RB92579, escolhidas como padrão de suscetibilidade (PINCELLI, 2010) e resistência ao estresse hídrico, respectivamente, e RB965917, RB965902, por terem sido lançadas em 2010 pelo PMGCA/RIDESA – UfsCar, e carecerem de estudos quanto ao seu comportamento diante do estresse hídrico. O material vegetal foi doado pela Usina da Barra – Grupo Cosan, localizada no município de Barra Bonita - SP.

### **5.2.1 RB855453**

Possui colmos eretos, medianamente empalhados, de diâmetro médio a grosso. É de difícil tombamento, bom fechamento de entrelinhas, florescimento frequente, ótima brotação, médio perfilhamento, possui alta exigência de ambiente e não deve ser plantada como cana de ano. Tem alta produtividade agrícola, teor de sacarose muito alto e PUI (período útil de industrialização) curto. É resistente a maioria das doenças. Colheita indicada entre maio e julho (HOFFMANN et al., 2008).

### **5.2.2 RB92579**

Apresenta alta produtividade agrícola, ótimo perfilhamento, diâmetro de colmo médio, baixa velocidade inicial de crescimento, bom fechamento na entrelinha, ótima brotação das soqueiras. Possui porte semi-ereto, com boa recuperação após períodos de seca, ótimo teor de sacarose, maturação média, com PUI longo, baixo florescimento, recomendada para colheita do meio para o final de safra, tolerante ao ataque da broca comum, resistente à ferrugem marrom e escaldadura das folhas e moderadamente resistente ao carvão (SOUSA et al., 2008).

### **5.2.3 RB965902**

Possui hábito de crescimento levemente decumbente, média despalha e alta intensidade de perfilhamento, bom fechamento de entrelinhas, boa brotação, porte alto, tombamento eventual, florescimento ausente e exigência de ambiente médio. Tem produtividade agrícola alta, teor de sacarose alto, teor de fibra médio, PUI médio, maturação precoce. É resistente a maior parte das doenças. Indicação para colheita entre maio e junho (DAROS et al., 2010).

### **5.2.4 RB 965917**

Tem hábito de crescimento ereto, fácil despalha, alta intensidade de perfilhamento, brotação muito boa, bom fechamento de entrelinhas, porte alto, tombamento raro, florescimento ausente, exigência de ambientes alta. Possui produtividade agrícola muito alta, alto teor de sacarose, médio teor de fibra, PUI médio, maturação precoce média. Elevada sanidade a maior parte das doenças. Recomendação de colheita de junho a agosto (DAROS et al., 2010).

### 5.3 Tratamentos e condução do experimento

O plantio foi realizado no dia 26 de novembro de 2010, feito com três toletes, com três gemas cada, plantados diretamente em vasos de 20 L, preenchidos com solo, peneirado e adubado conforme necessidade mostrada na análise química do mesmo (Tabelas 1 e 2). O solo era um latossolo vermelho distroférrico, com análise física na Tabela 3. Aos 39 dias após o plantio (DAP) foi feito um desbaste com a retirada das plantas extras, deixando somente uma planta por vaso, prática repetida durante todo o experimento. Isso foi feito para deixar todas as plantas na mesma condição, evitando o aparecimento de uma característica de maior perfilhamento de alguma das variedades.

O teor de água do solo foi controlado com o uso de tensiômetros de punção em todos os vasos, sendo a tensão medida diariamente com um tensímetro digital. A água foi adicionada manualmente, com um recipiente graduado. Todas as plantas foram mantidas em solo na capacidade de campo até os 67 DAP, depois o tratamento sem estresse foi mantido com o teor de água no solo na capacidade de campo (CC) e o tratamento com estresse foi reduzido para 50% da CC, valores obtidos por meio da curva característica de retenção de água no solo (Tabela 4). As condições ambientais, dentro da casa de vegetação, foram monitoradas diariamente com um termohigrógrafo, obtendo-se temperaturas e umidades relativas do ar máxima e mínima.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 4x2, sendo as fontes de variação: quatro variedades, dois regimes hídricos, com quatro repetições. Foi feita a análise de variância e a comparação das médias pelo teste de Tukey.

Tabela 1. Análise química dos macronutrientes do solo.

<b>pH</b>	<b>M.O</b>	<b>P<sub>resina</sub></b>	<b>Al<sup>+3</sup></b>	<b>H+Al</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V%</b>	<b>S</b>
CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>				mmol/dm <sup>3</sup>				(%)	mg/dm <sup>3</sup>
3,9	22	3	15	68	0,2	3	1	5	73	6	10

Tabela 2. Análise química dos micronutrientes do solo.

<b>Boro</b>	<b>Cobre</b>	<b>Ferro</b> mg/dm <sup>3</sup>	<b>Manganês</b>	<b>Zinco</b>
0,14	1,2	65	0,1	0,1

Tabela 3. Análise física do solo.

<b>Areia</b>	<b>Argila</b> (g/Kg)	<b>Silte</b>	<b>Densidade</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>Textura</b>
660	297	43	1,2	média

Tabela 4. Curva característica de retenção de água no solo.

<b>Tensão da água no solo (KPa)</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1500</b>
Teor de água no solo (%)	16,16	14,36	12,17	11,61	10,74	10,39	9,99

#### **5.4 Avaliações morfológicas e fisiológicas**

Foram feitas três avaliações, aos 0, 28 e 63 dias após a aplicação do tratamento (67 DAP), nos quais as plantas estavam com 67, 95 e 130 dias. Apenas as medidas de matéria seca foram tomadas no último dia. Foram feitas medidas fisiológicas e morfológicas nas três avaliações.

##### **5.4.1 Avaliações morfológicas**

###### **5.4.1.1 Altura da planta**

As alturas das plantas foram medidas com uma trena de 5 m, da base do colmo até a ponta da folha mais alta.

###### **5.4.1.2 Comprimento e largura da folha +3, nº de folhas verdes e área foliar**

O comprimento da folha +3 (terceira folha totalmente expandida) foi medido com uma trena, medindo-se da base até a ponta da folha. A largura da folha +3 também foi medida com uma trena, sendo a medida tomada na parte mais larga da folha. O nº

de folhas verdes foi observado contando todas as folhas da planta, a partir da folha mais +1. A área foliar foi calculada a partir da metodologia de Hermann e Câmara (1999):

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

Onde AF= área foliar (cm), C= comprimento da folha (cm), L= largura da folha (cm), 0,75= fator de ajuste para a cultura e N= número de folhas verdes.

## 5.4.2 Avaliações fisiológicas

### 5.4.2.1 Condutância estomática (gs)

A condutância estomática ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) foi medida na folha +2, com um porômetro (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA), em conjunto com a leitura do fluxo de radiação ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), feita por um medidor de radiação (Apogee Instruments, Inc., Roseville, CA, EUA). Essas medidas foram tomadas as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, para observar o comportamento das variedades durante os dias que foram avaliadas.

As medidas de temperatura, de umidade relativa do ar e das folhas foram feitas simultaneamente às medidas de gs pelo próprio porômetro. Com o uso dessas medidas, foi possível calcular o DPV (déficit de pressão de vapor) pelas seguintes fórmulas:

$$e1 = 0,61365 * EXP\left(\frac{17,502 * Tf}{240,97 + Tf}\right)$$

$$e2 = \left(\frac{URar}{100}\right) * 0,61365 * EXP\left(\frac{17,502 * Tar}{240,97 + Tar}\right)$$

$$DPV = e1 - e2$$

Onde: Tar = temperatura do ar, Tf = temperatura da folha, URar = umidade relativa da folha, e1= pressão de vapor de saturação da folha, e2 = pressão real de vapor de água e DPV= déficit de pressão de vapor



Figura 1. Medida da condutância estomática e cana-de-açúcar com o porômetro (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA)

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

A máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II também foi medida em quatro horários diferentes durante os dias de avaliação (7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas). As medidas foram feitas com um fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, EUA), com o qual foi obtido os valores da fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ) e da máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). Para essa medida, é necessário que se deixe no escuro por cerca de 30 minutos a região da folha a ser medida. Isso foi feito com presilhas, que eram colocadas na folha +2 antes das aferições.



Figura 2. Presilha para adaptação da folha ao escuro e fluorômetro

### 5.4.2.3 Índice SPAD

O Índice SPAD foi medido usando-se um clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA) e usando-se a média de três leituras na folha +1. O índice SPAD corresponde a quantidade de clorofila na folha, porém é uma medida indireta, pois mede a intensidade de cor verde, que é correlacionada com o teor de clorofila. Após essa medida, a folha +1 foi retirada, colocada em sacos plásticos e em seguida transportada para o laboratório em uma caixa térmica com gelo. Nessa mesma folha foram feitas as medidas de conteúdo de clorofila total e potencial hídrico.



Figura 3. Medida do índice SPAD em folha de cana-de-açúcar

### 5.4.2.4 Conteúdo de clorofila total por espectrofotômetro (CC)

O CC foi determinado retirando dois discos foliares da folha +1, entre a borda e a nervura central, cada um com  $0,69 \text{ cm}^2$ . A metodologia usada foi a de Porra et al. (1989), que consiste na utilização de 1 ml de ácido dimetil-formamida (DMF) para obtenção do extrato de clorofila. A solução ficou protegida da luz por 24 h, até o momento da leitura no espectrofotômetro. As leituras foram feitas nos comprimentos de onda 480, 647 e 664 nm, com o extrato diluído em 1 mL de água deionizada.



Figura 4. Extração dos discos foliares de cana-de-açúcar e recipientes para extração da clorofila com ácido.

#### 5.4.2.5 Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

As medidas de  $\Psi_w$  foram feitas na extremidade superior (ponta) da folha +1, utilizando a câmara de pressão de Scholander (Soil Moisture Equipment, Santa Bárbara CA, EUA), às 8:00 horas.



Figura 5. Medida do potencial hídrico em folha de cana-de-açúcar com uma câmara de pressão.



### **5.4.3 Massa de matéria seca**

Na última avaliação, foi determinada a massa de matéria seca da parte aérea e das raízes. As plantas foram separadas em parte aérea e raízes, em seguida a parte aérea foi pesada e colocada em sacos de papel. As raízes foram lavadas em água corrente, para retirada da terra, depois retirado o excesso de água, pesadas e colocadas em sacos de papel. Ambas as partes foram levadas para uma estufa de circulação forçada e deixadas por 72 horas a 70 °C. Em seguida o material foi pesado em uma balança de precisão.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Condições ambientais**

As condições ambientais, como temperatura, umidade do ar e o teor de água do solo, tem grande importância no desenvolvimento e produção das culturas agrícolas. No caso da cana-de-açúcar, que é uma planta de clima tropical, a temperatura ideal está entre 21 e 35°C (MAGALHÃES, 1987), abaixo de 20°C o crescimento das plantas torna-se lento, e temperaturas superiores a 38°C prejudicam o metabolismo das plantas, levando ao estresse térmico. No presente estudo, a temperatura média oscilou praticamente o tempo todo dentro do intervalo ideal, porém, ocorreram picos de máxima e mínima que podem ter prejudicado o desenvolvimento das plantas. Em 70% dos dias, ocorreram máximas acima de 35°C, enquanto que em 38% dos dias as mínimas foram abaixo de 20°C. Essa variação de temperatura pode ter levado as plantas a um estresse térmico, já que não havia controle ambiental dentro da casa de vegetação.

Durante as avaliações, ocorreram quedas bruscas de temperatura (Figura 6a) e aumento da umidade relativa do ar (Figura 6b). Esse fato pode ter contribuído

para mascarar os dados de algumas das variáveis fisiológicas estudadas, como condutância estomática, fluorescência da clorofila e potencial hídrico na folha. Também pode ter influenciado o comportamento das cultivares em algumas variáveis morfológicas.

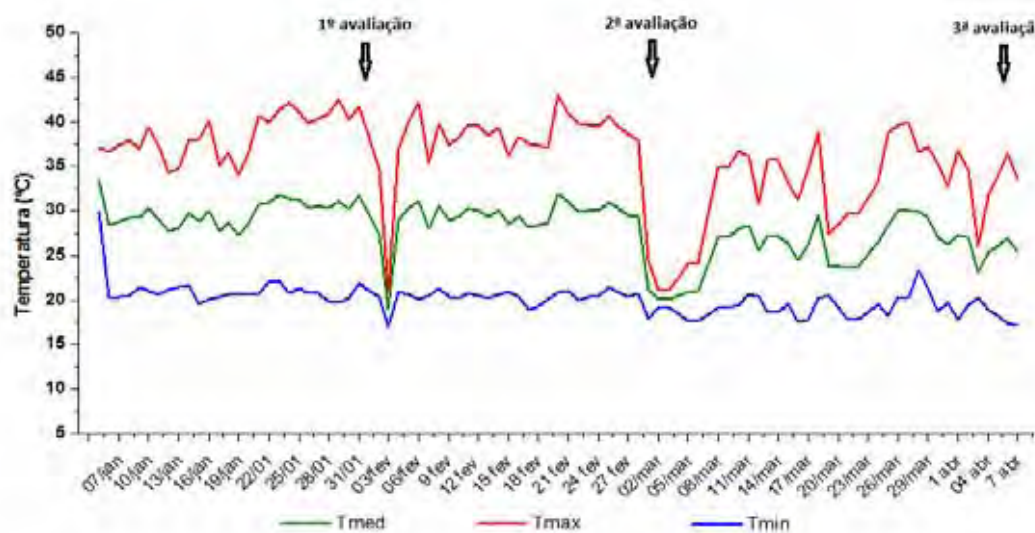


Figura 6 a. Temperaturas média, máxima e mínima dentro da casa de vegetação, 5 de janeiro de 2011 a 7 de abril de 2011, em Botucatu – SP.

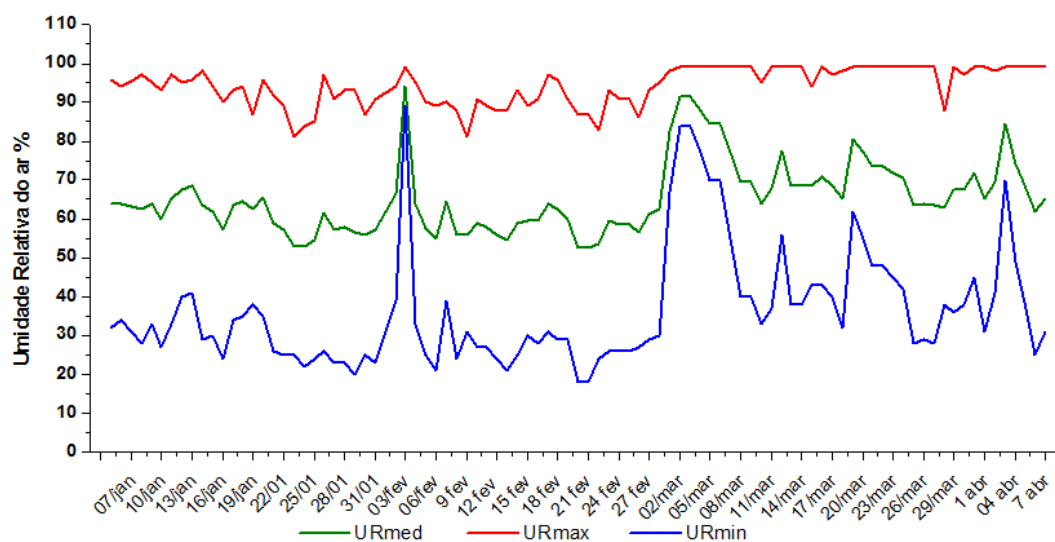


Figura 6 b. Umidades relativas média, máxima e mínima, dentro da casa de vegetação, 5 de janeiro de 2011 a 7 de abril de 2011, em Botucatu – SP.

A tensão da água no solo (Figura 7) se manteve praticamente igual até o dia primeiro de fevereiro, quando foi feita a diferenciação dos tratamentos. A partir dessa data houve uma clara diferenciação, que pode ser melhor visualizada observando-se na figura 2 as linhas vermelha e azul, que representam a média dos tratamentos com e sem estresse, respectivamente, a partir do dia da diferenciação.

Embora tenha havido muita oscilação nas medidas de tensão da água no solo, as médias se mantiveram dentro do intervalo proposto (80 a 100% da CC para o tratamento sem estresse e 40 a 60% da CC para o tratamento com estresse). Essas oscilações ocorreram por causa dos altos picos de temperatura, como observado na Figura 6a, associado com o volume limitado de terra do vaso e uma cultura com alta demanda evapotranspirativa, o que resulta numa rápida perda de água para a atmosfera. Dessa forma é altamente recomendado o uso de casas de vegetação com controle ambiental.

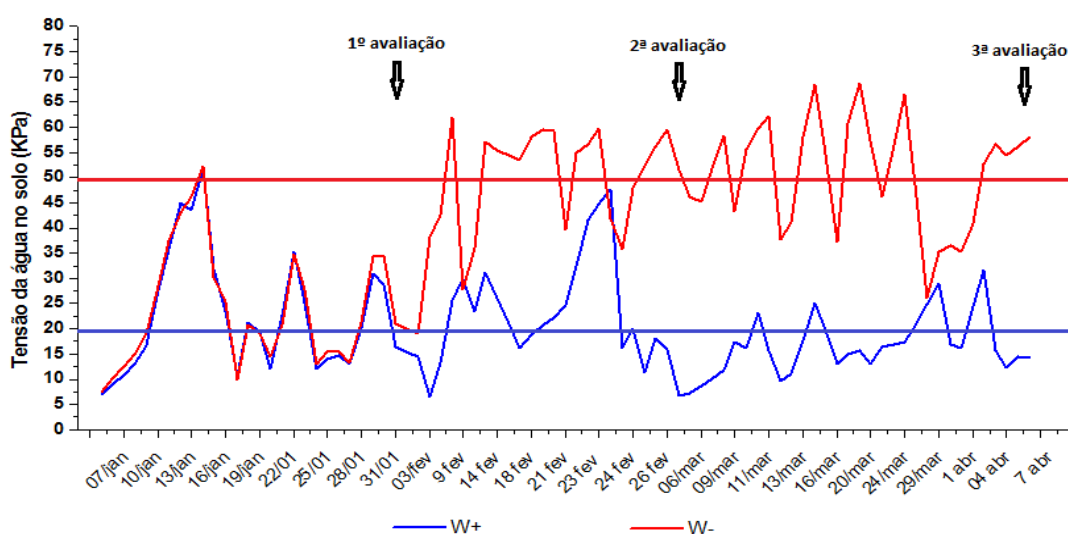


Figura 7. Tensão da água no solo, em vasos, no tratamento sem estresse hídrico (W+) e com estresse hídrico (W-), de 5 de janeiro de 2011 a 7 de abril de 2011, em Botucatu - SP.

## 6.2 Variáveis morfológicas

Tabela 5. Análise de variância da altura da planta (AP), área foliar (AF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e número de folhas (NF) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	G.L.	QM				
		AP (cm)	AF (cm)	CF (cm)	LF (cm)	NF
Cultivar (C)	3	909,614*	526226,742**	1419,583**	0,483**	0,614ns
Regime hídrico (RH)	1	1417,781*	22860,030ns	40,500ns	0,112ns	0,281ns
C x RH	3	333,197ns	54073,517ns	33,916ns	0,065ns	0,114ns
<b>CV(%)</b>		<b>15,29</b>	<b>21,44</b>	<b>15,29</b>	<b>11,64</b>	<b>11,97</b>
<b>Variedades</b>		<b>Médias</b>				
RB855453		113,50a	1324,85a	101,62a	2,53a	5,625a
RB92579		115,87a	1297,87a	82,37b	2,23ab	5,750a
RB965917		93,87a	809,41b	70,25b	1,96b	5,750a
RB965902		99,62a	947,40b	78,25b	2,10b	6,250a
<b>Regime hídrico</b>		<b>Médias</b>				
W +		112,37a	1068,16a	82,00a	2,15a	5,93a
W -		99,06b	1121,61a	84,25a	2,26a	5,75a

G.L.: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05); \*\*: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 6. Análise de variância da altura da planta (A.P), área foliar (A.F), comprimento da folha (C.F), largura da folha (L.F) e número de folhas (N.F) em cana-de-açúcar, sob efeito de variedade e regime hídrico, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	G.L.	QM				
		<i>AP (cm)</i>	<i>AF (cm)</i>	<i>CF (cm)</i>	<i>LF (cm)</i>	<i>NF</i>
Cultivar (C)	3	1725,875**	984520,848**	305,333**	1,241**	1,197*
Regime hídrico (RH)	1	7688,000**	4890573,393**	1352,000**	0,577ns	22,781**
C x RH	3	153,750ns	61140,436ns	34,166ns	0,102ns	0,031ns
<b>CV(%)</b>		<b>6,91</b>	<b>20,74</b>	<b>5,42</b>	<b>13,51</b>	<b>13,51</b>
<b>Cultivares</b>				<b>Médias</b>		
RB855453		160,87a	1865,13a	123,87a	3,17a	4,25b
RB92579		146,12b	2191,23a	117,37ab	3,40a	5,12a
RB965917		125,50c	1345,10b	109,87b	2,47b	4,37ab
RB965902		148,75ab	1719,19ab	112,37b	3,03b	4,62ab
<b>Regime hídrico</b>				<b>Médias</b>		
W +		160,81a	2171,10a	122,37a	3,15a	5,43a
W -		129,81b	1389,23b	109,37b	2,88a	3,75b

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05); \*\*: significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.

Tabela 7. Análise de variância da altura da planta (AP), área foliar (AF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e número de folhas (NF) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	G.L.	QM				
		AP (cm)	AF (cm)	CF (cm)	LF (cm)	NF
Cultivar (C)	3	754,093ns	178844,55ns	564,364**	1,864**	5,083**
Regime hídrico (RH)	1	39691,53**	30463871,30**	18963,781**	1,320**	55,125**
C x RH	3	696,593ns	24401,979ns	365,614*	0,182ns	0,375ns
<b>CV(%)</b>		<b>6,93</b>	<b>17,24</b>	<b>10,75</b>	<b>8,9</b>	<b>14,81</b>
<b>Cultivar</b>				<b>Médias</b>		
RB855453		200,87a	2210,06a	108,00a	3,87ab	4,62b
RB92579		188,00a	2012,78a	90,75b	4,21a	4,50b
RB965917		196,50a	2131,87a	109,00a	3,06c	5,87a
RB965902		198,50a	2369,44a	101,37ab	3,73b	6,00a
<b>Regime hídrico</b>				<b>Médias</b>		
W +		231,18a	3156,74a	126,62a	3,92a	6,56a
W -		160,75b	1205,34b	77,93b	3,51b	3,93b

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05); \*\*: significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.

### 6.2.1 Altura da planta

A análise de variância indicou significância da causa de variação cultivar para altura da planta na primeira (0 DAT) e segunda (28 DAT) avaliação, mas não na terceira avaliação (63 DAT). Embora os tratamentos ainda não tivessem sido diferenciados, a 0 DAT a fonte de variação regime hídrico já mostrava significância para a variável altura da planta, o que se repetiu nas outras duas avaliações, com uma diferença de mais de 30,5 % entre o tratamento com estresse e o sem estresse aos 63 DAT. Gonçalves (2008), também avaliando quatro variedades de cana-de-açúcar em casa de vegetação, observou uma redução de 35,9 % no tratamento com estresse severo aos 71 DAT.

A variedade com menor redução da altura final entre os tratamentos com e sem estresse foi a RB855453 (24,4%), sendo observada a maior altura final no tratamento com estresse (173 cm). Nos demais genótipos foram observadas reduções semelhantes, entre 31 e 33 %. A cultivar RB965902 teve a maior altura final no tratamento sem estresse, com 238 cm (Figura 8), contudo não se destacou no tratamento estressado. Com valores um pouco menores dos encontrados nesse trabalho, Machado et al. (2009), observaram redução significativa na altura da planta na cultivar de cana-de-açúcar IAC96-2042, com o tratamento com estresse na fase inicial da cultura alcançando em torno de 130 cm, enquanto que o tratamento sem estresse nessa fase atingiu quase 200 cm.

A expansão da célula, processo diretamente ligado ao crescimento da planta, é um dos mais sensíveis ao déficit hídrico (PÁEZ et al., 1995), sendo a altura da planta uma variável que pode ser utilizada como critério para determinar a suscetibilidade de materiais de cana-de-açúcar ao estresse hídrico (SILVA et al. 2008).



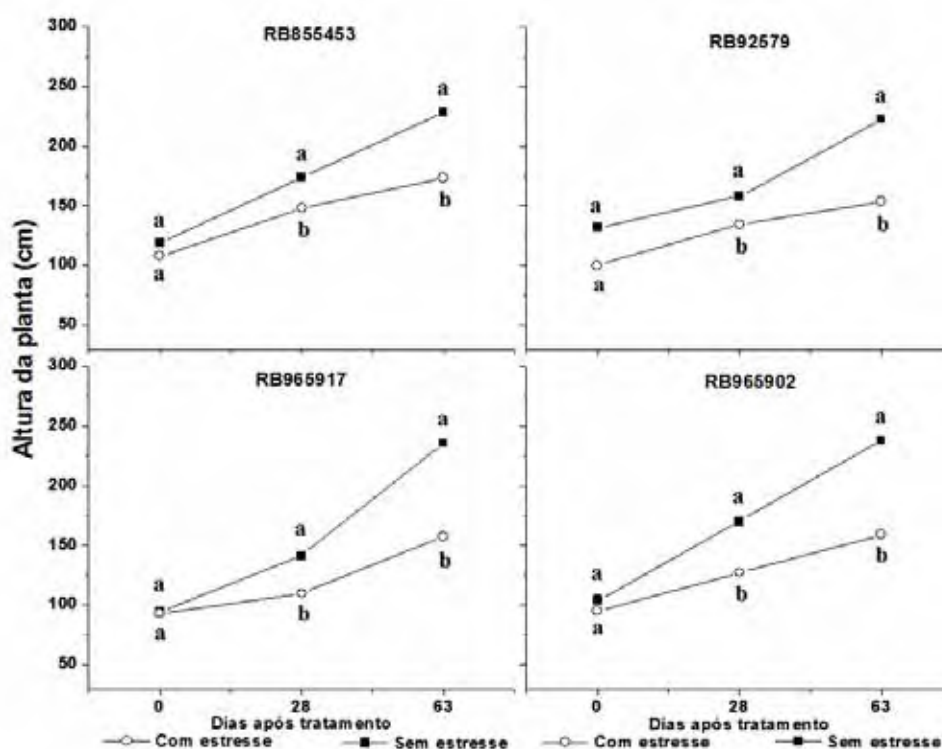


Figura 8. Altura da planta de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

### 6.2.2 Área foliar (AF)

A fonte de variação cultivar foi significativa somente a 0 e 28 DAT. Para regime hídrico, houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) aos 28 e 63 DAT (Tabelas 5, 6 e 7), com redução de 62% na área foliar (AF) entre os tratamentos com estresse e o sem estresse na última avaliação, valor um pouco maior do encontrado por Gonçalves (2008), que observou redução de 55,6% da AF entre o tratamento com estresse hídrico e o controle, também trabalhando com cana-de-açúcar em casa de vegetação.

As cultivares mantiveram a área foliar praticamente igual durante todo o período do experimento no tratamento com estresse, entretanto apenas a variedade RB92579 teve tendência de queda mais acentuada aos 63 DAT (Figura 9). No tratamento sem estresse,

verificou-se nessa mesma variedade e mesma época de avaliação, menor crescimento da área foliar em relação às outras variedades, que tiveram aumento mais linear (Figura 9), isso pode ter sido causado por um estresse térmico, como comentado anteriormente (Figura 6a e 6b). Essa característica pode ser vantajosa em ambientes com estresse hídrico e térmico, pois uma menor área foliar permite menor perda de água por transpiração, o que caracteriza um meio de proteção da planta (TAIZ e ZEIGER, 2004).

As cultivares RB855453 e RB92579 tiveram maiores médias de AF aos 0 e 28 DAT (Tabela 5 e 6). Esse comportamento é fundamental para uma maior interceptação de luz solar e acúmulo de biomassa, sendo que o lento desenvolvimento das folhas pode limitar a produção da cultura (INMAN-BAMBER, 1994) e o maior desenvolvimento da área foliar na fase inicial pode ter grande influência no fechamento mais rápido do dossel e de maior quantidade de luz solar interceptada (SINCLAIR et al., 2004).

A cultivar RB965902 teve os maiores valores de AF aos 63 DAT, tanto no tratamento com estresse quanto no sem estresse, 1334,19 e 3404,7 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 9), embora tenha apresentado menor desenvolvimento nas primeiras duas avaliações. Todas as variedades tiveram redução entre os tratamentos semelhantes à média para esta época (62%).

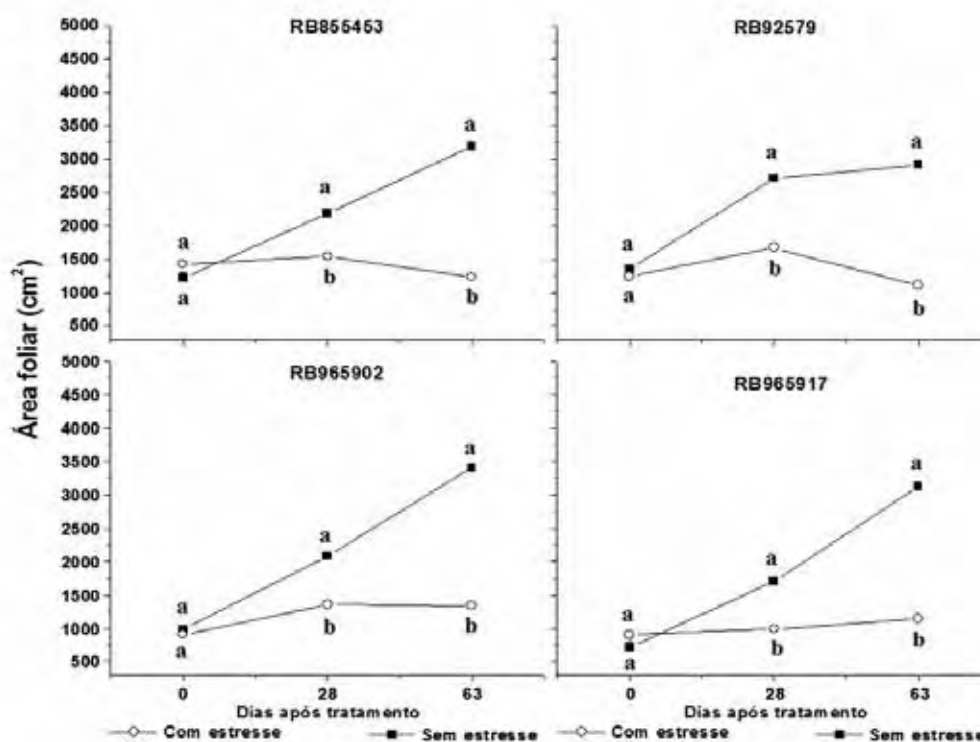


Figura 9. Área foliar de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

### 6.2.3 Comprimento e largura da folha (CF e LF)

O resultado da análise de variância sobre a variável comprimento da folha indicou efeito significativo para cultivar nas três épocas de avaliação, enquanto para regime hídrico o efeito significativo foi na segunda e na terceira avaliação, e para interação entre esses dois fatores na última avaliação (Tabela 5, 6 e 7).

Sob tratamento sem estresse houve maior crescimento da folha do que sob estresse, atingindo em média 126 cm aos 63 DAT (Tabela 7). No tratamento com estresse foi observado comportamento diferente, com redução de valor dessa variável da segunda para a terceira avaliação, de 109 cm aos 28 DAT para 77 cm aos 63 DAT (Tabelas 6 e 7). Houve redução de 38,45% do tratamento sem estresse para o com estresse. Isso sugere sensibilidade

dessa variável ao estresse hídrico, ao contrário do que constatou Pincelli (2010), onde afirma que a variável CF não apresentou diferença significativa entre variedades e entre regime hídrico e, portanto, não é confiável para avaliar a resposta de cultivares a deficiência hídrica. Gonçalves (2008), trabalhando com cana-de-açúcar em fase inicial, também observou redução no comprimento da folha em plantas sob déficit hídrico.

A cultivar RB965917 apresentou o maior comprimento da folha no tratamento sem estresse (138,0 cm), aos 63 DAT. Também foi observado um bom desempenho no tratamento com estresse, nessa mesma época de avaliação, com o segundo maior comprimento (80,0 cm). Os valores de comprimento da folha foram menores na cultivar RB92579, tanto no tratamento com estresse quanto no sem estresse (Figura 10). A cultivar RB855453 teve o melhor comportamento sob déficit hídrico, com comprimento de folha de 92,0 cm, e também alcançou a menor redução entre os tratamentos com estresse e sem estresse, aos 63 DAT (25%). Na variável altura da planta, esse genótipo apresentou o mesmo comportamento, assim esses resultados podem indicar melhor adaptação da cultivar RB855453 em ambientes estressantes.

Para largura da folha (LF), a análise de variância foi significativa para a fonte de variação cultivar nas três épocas de avaliação, enquanto para regime hídrico, apenas na última (63 DAT) (Tabelas 5, 6 e 7). Os valores de LF para RB92579 aos 28 e 63 DAT foram os maiores, enquanto RB965917 apresentou os menores valores nas três avaliações.

A diferença entre o tratamento com estresse e sem estresse aos 63 DAT foi de menos de 0,5 cm, redução de apenas 10,45 %. Esse comportamento pode indicar pouca sensibilidade da variável LF ao estresse hídrico, sendo talvez necessários estresses mais severos para promover reduções significativas. Dessa forma, essa variável pode ser de baixa confiabilidade como parâmetro para selecionar genótipos em ambientes estressantes.

Foi observada diferença significativa apenas para as cultivares RB855453 e RB965917, aos 63 DAT (Figura 11). As reduções entre os tratamentos foram de 15,5% e 17,3%, respectivamente.

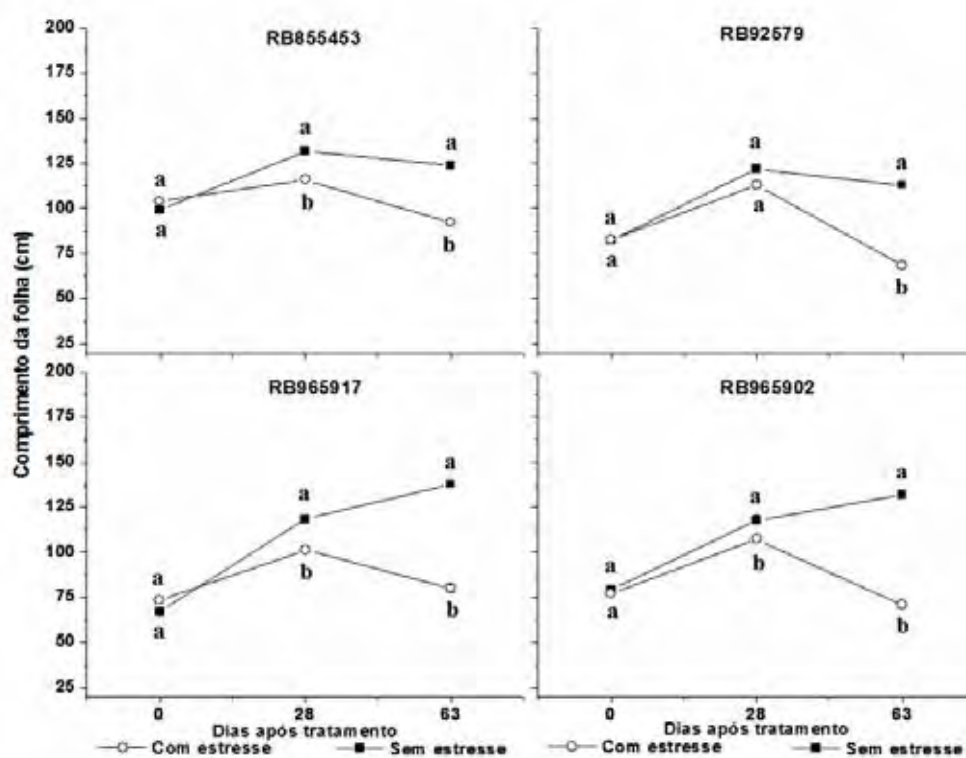


Figura 10. Comprimento da folha de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

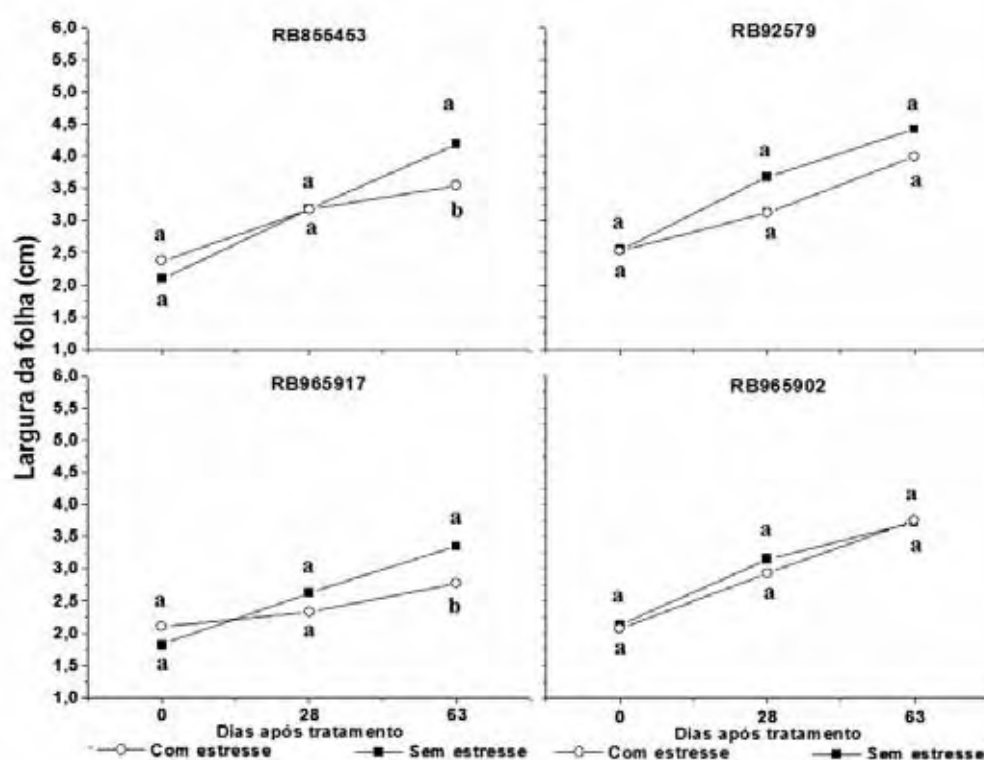


Figura 11. Largura da folha de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

#### 6.2.4 Número de folhas verdes (NF)

Na análise de variância para número de folhas verdes observou-se efeito significativo das fontes de variação cultivar e regime hídrico aos 28 e 63 DAT (Tabela 6 e 7). A cultivar RB92579 teve o maior número de folhas verdes na segunda avaliação. Na terceira avaliação, foi possível observar a separação das cultivares em dois grupos distintos, com RB965917 e RB965902 com médias mais altas, 5,87 e 6,00 folhas verdes respectivamente, e RB855453 e RB92579 com médias mais baixas, 4,62 e 4,5 folhas verdes, respectivamente. Comportamento semelhante também encontrou Pincelli (2010), trabalhando com outras cultivares de cana-de-açúcar em vaso, sob estresse hídrico.

No tratamento sem estresse, o número de folhas verdes apresentou aumento constante durante as três avaliações. O tratamento com estresse sofreu significativa

redução ao decorrer do experimento, chegando a 40% em relação ao sem estresse, aos 63 DAT. Observou-se comportamento parecido em todas as cultivares, tanto sob estresse hídrico quanto no controle, com exceção da RB92579, com tendência de diminuição do NF no tratamento com estresse hídrico (Figura 12). A cultivar RB965917 teve a menor redução no número de folhas verdes aos 63 DAT, com 32% de diferença entre os tratamentos, enquanto que a maior redução foi da RB855453, de 52%. Essa maior redução no número de folhas verdes na RB855453 foi contrastante ao se comparar com outras variáveis (AP e CF), onde observou-se as menores reduções sob estresse hídrico.

O número de folhas verdes depende tanto do aparecimento de novas folhas, quanto da velocidade de senescência das folhas mais velhas. Em ambientes de alta demanda evaporativa, os dois fatores influenciam o número de folhas verdes, já em ambientes com baixa demanda evaporativa, a senescência contribui mais do que o aparecimento de folhas novas, dessa forma o número de folhas verdes pode ser um bom indicador de estresse hídrico (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005).

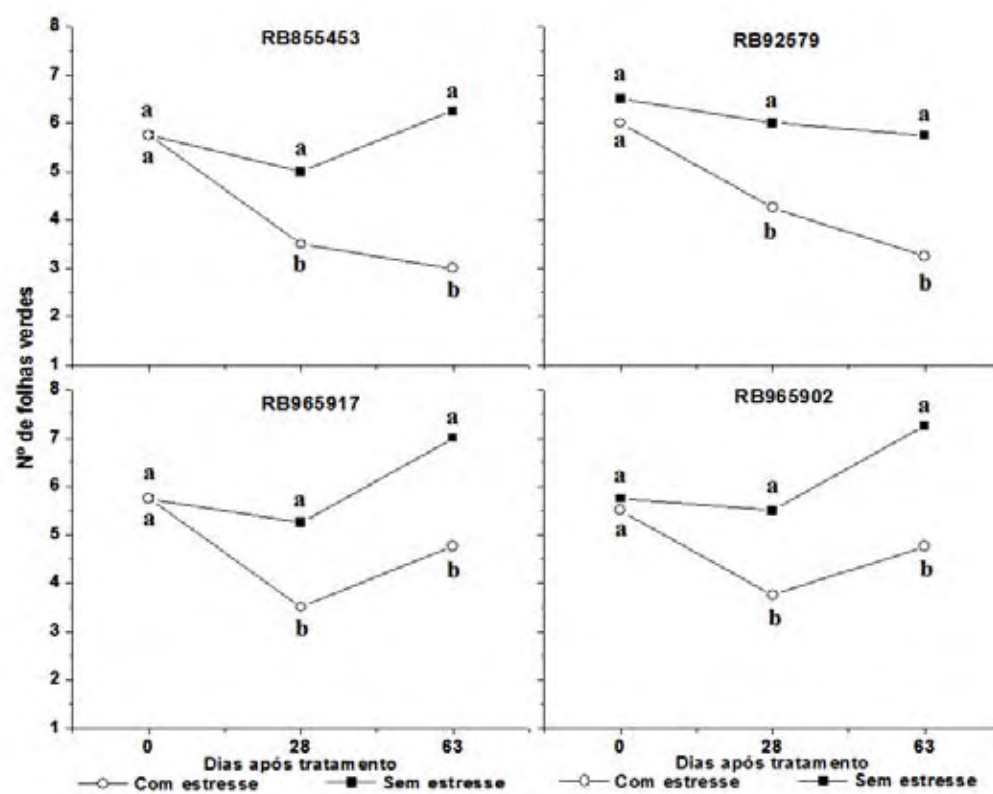


Figura 12. Número de folhas verdes de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.



### 6.3 Variáveis fisiológicas

Tabela 8. Análise de variância do conteúdo de clorofila total ( $CC\ a + b$ ), estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cana-de-açúcar, sobefeito de cultivar e regime hídrico, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu-SP.

Fontes de Variação	GL	QM		
		$CC\ a + b\ (ug/cm^2)$	SPAD	$\Psi_w\ (bar)$
Cultivar (C)	3	160,273ns	177,970**	6,170*
Regime Hídrico (RH)	1	0,816ns	16,344ns	0,0021ns
C x RH	3	30,798ns	4,099ns	2,030ns
<b>CV(%)</b>		<b>14,82</b>	<b>5,08</b>	<b>12,37</b>
<b>Cultivar</b>			<b>Médias</b>	
RB855453		51,32a	45,21b	-10,23ab
RB92579		54,32a	42,58b	-11,51a
RB965917		61,95a	52,59a	-10,46ab
RB965902		64,41a	50,95a	-9,38b
<b>Regime hídrico</b>			<b>Médias</b>	
W +		55,71a	4712a	-10,39a
W -		60,29a	48,55a	-1040a

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ); C.V: coeficiente de variação.

Tabela 9. Análise de variância do conteúdo de clorofila total ( $CC\ a + b$ ), estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de variação	GL	QM		
		$CC\ a + b$ (ug/cm <sup>2</sup> )	SPAD	$\Psi_w$ (bar)
Cultivar (C)	3	706,984**	91,219**	11,144*
Regime Hídrico (RH)	1	0,172ns	80,772**	36,316**
C x RH	3	104,116ns	17,330ns	5,095ns
<b>CV(%)</b>		<b>20,17</b>	<b>6,75</b>	<b>28,09</b>
<b>Variedades</b>			<b>Médias</b>	
RB855453		40,61b	36,69b	-7,12ab
RB92579		44,15ab	41,71a	-6,66ab
RB965917		32,27b	44,07a	-8,35a
RB965902		54,96a	43,61a	-5,50b
<b>Regime hídrico</b>			<b>Médias</b>	
W +		42,93a	43,11a	-5,83a
W -		40,07a	39,93b	-7,93b

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ); C.V: coeficiente de variação.

Tabela 10. Análise de variância do conteúdo de clorofila total ( $CC a + b$ ), estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de variação	GL	QM		
		$CC a + b$ (ug/cm <sup>2</sup> )	SPAD	$\Psi_w$
Cultivar (C)	3	740,049**	24,511ns	5,426*
Regime Hídrico (RH)	1	71,730ns	74,420**	95,254**
C x RH	3	327,341ns	6,525ns	15,419**
<b>CV(%)</b>		<b>25,68</b>	<b>8,10</b>	<b>13,23</b>
<b>Variedade</b>			<b>Médias</b>	
RB855453		27,58b	39,61a	-10,53a
RB92579		49,41a	37,96 a	-9,03ab
RB965917		44,46a	42,21a	-9,83ab
RB965902		45,05a	39,81a	-8,68b
<b>Regime hídrico</b>			<b>Médias</b>	
W +		43,12a	41,42a	-7,79a
W -		40,13a	38,37b	-11,24b

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ); C.V: coeficiente de variação.

### 6.3.1 Conteúdo de clorofila total ( $CC a + b$ )

Para o teor de clorofila total, a fonte de variação regime hídrico não apresentou diferença significativa, para as três épocas de avaliação, já para cultivar, foi significativa aos 28 e 63 DAT (Tabelas 8, 9 e 10). A deficiência hídrica aos 63 dias promoveu diferença entre os tratamentos com e sem estresse apenas na cultivar RB965917 (Figura 13), com redução de 36,7%, já RB855453 e RB92579 apresentaram valores próximos ao controle ao longo do estresse, o que sugere que essas cultivares têm maior capacidade de síntese de clorofila, mesmo sob deficiência hídrica.

Em trabalho realizado por Pincelli (2010) foi constatado que cultivares tolerantes de cana-de-açúcar apresentaram menor redução de teor de clorofila total quando comparada com as sensíveis, em potenciais hídricos mais baixos. Outros trabalhos também verificaram alta redução de pigmento fotossintético em plantas de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica (CHA-UM; KIRDMANEE, 2009; CARLIN et al., 2012), o que indica que a deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis pela perda de pigmentos nas folhas de cana-de-açúcar, como também apresentado neste estudo, o que pode ser viável à seleção de cultivares que apresentem tolerância aos estresses abióticos.

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 e POSSAMAI, 2004).

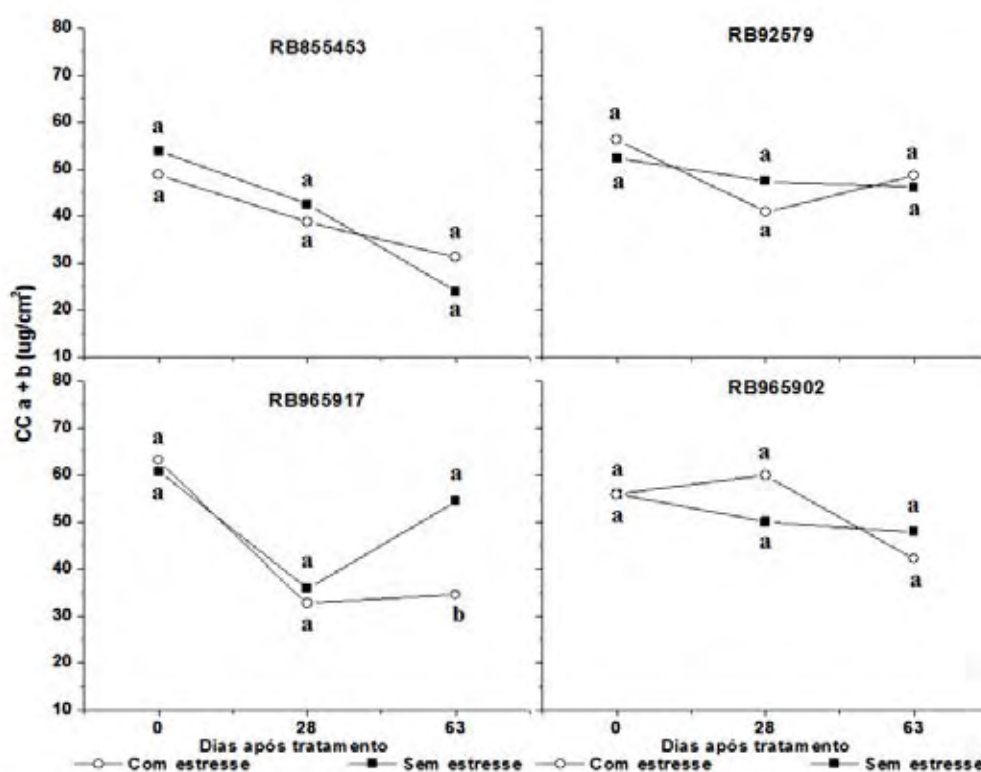


Figura 13. Conteúdo de clorofila total em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, a 0; 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

### 6.3.2 Índice SPAD

A análise de variância mostrou significância na fonte de variação cultivar para índice SPAD na primeira e segunda avaliação. O regime hídrico foi significativo aos 28 e 63 DAT (Tabelas 8, 9 e 10).

No início do experimento as cultivares apresentaram valores médios superiores a 40 de índice SPAD, não apresentando diferença entre os tratamentos (Tabela 8). Aos 28 DAT, as cultivares RB855453 e RB965917 de cana-de-açúcar demonstraram diferença em resposta ao estresse hídrico (Figura 14), apresentando redução de 13,4% e 12,9%, respectivamente. As demais cultivares tiveram pouca redução nesses valores, permanecendo próximos a 40 de índice SPAD.

Aos 63 DAT, todas as cultivares, com exceção de RB855453, mantiveram tendência de queda nos valores do índice SPAD, comportamento também observado por Silva et al. (2011) em genótipos de cana-de-açúcar. Somente na cultivar RB965917 houve diferença significativa entre os tratamentos para essa data. Também alcançou as maiores médias, tanto no tratamento com estresse quanto no sem estresse, com 44,9 e 39,52 de índice SPAD, respectivamente, e redução de 12% entre os tratamentos. Isso evidencia que a deficiência hídrica causou danos nos pigmentos fotossintéticos de forma mais acentuada nessa cultivar, fato já verificado na redução do conteúdo de clorofila total aos 28 DAT (Figura 13), sendo considerada a mais susceptível do grupo. As demais cultivares tiveram médias mais baixas, porém não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, o que indica que o estresse hídrico não afetou a variável índice SPAD (Figura 14).

Estes resultados estão de acordo com Silva et al. (2012) que constataram valores inferiores a 40 de índice SPAD em genótipos de cana-de-açúcar sensíveis sob deficiência hídrica. Para Silva et al. (2007) leituras inferiores a 40 de índice SPAD indicam o início da deficiência de clorofila em cultivares de cana-de-açúcar, o que afeta o processo fotossintético. De acordo com Silva et al. (2012), esse parâmetro é considerado um bom indicador de distúrbios causados nas plantas afetadas por deficiência hídrica e indicados para seleção de genótipos tolerante a seca.

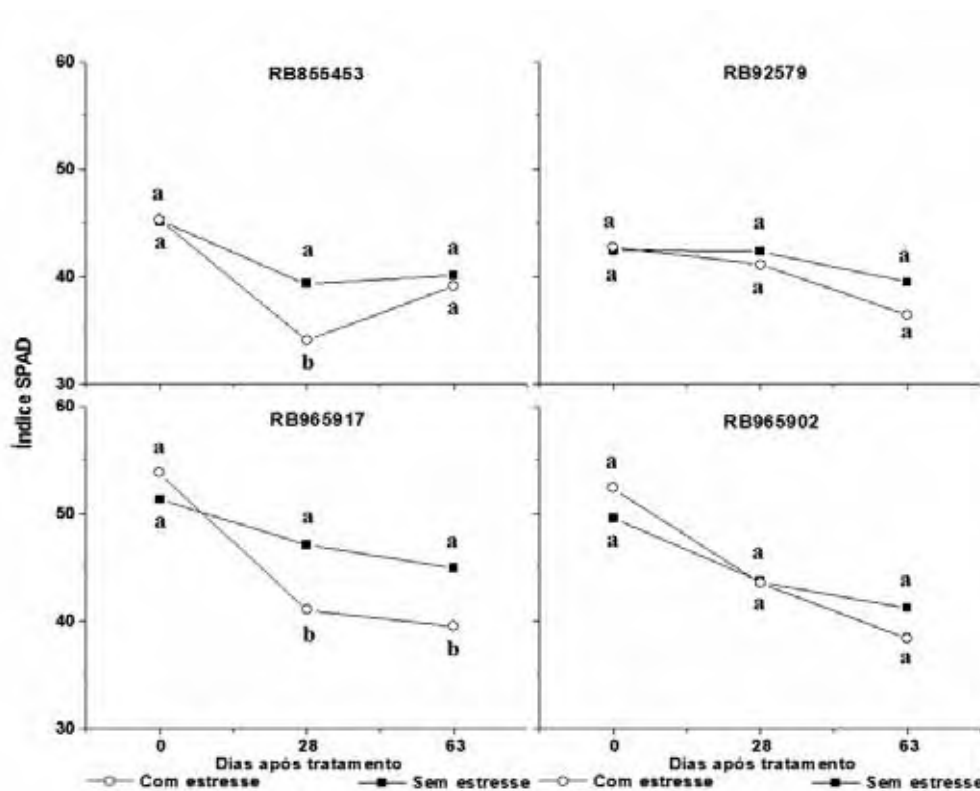


Figura 14. Estimativa do conteúdo de clorofila via índice SPAD em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, a 0; 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

### 6.3.3 Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

De acordo com a análise de variância, o potencial hídrico da folha foi significativo para cultivar nas três épocas de avaliação ( $P < 0,01$ ) e para regime hídrico aos 28 e 63 dias ( $P < 0,05$ ) (Tabelas 8, 9 e 10).

O potencial da água na folha ( $\Psi_w$ ) médio no início da imposição dos tratamentos foi de aproximadamente -10 bar para todas as cultivares (Tabela 8). Após 28 dias de deficiência hídrica pode-se notar maior redução do  $\Psi_w$  para as cultivares RB965902 (51%) e RB92579 (38,6%). Não foi constatada diferença significativa para as cultivares RB855453 e

RB965917, não evidenciando estresse nesse período. Contudo, mesmo os genótipos que apresentaram redução no  $\Psi_w$ , seus valores não ultrapassaram -10 bar no tratamento com estresse, o que pode não ser caracterizado como plantas sob estresse hídrico. Esse comportamento pode ser devido à interferência dos fatores climáticos no dia da avaliação, tais como alta umidade, baixa temperatura do ar e baixa radiação (figuras 6a e 6b). O fato de o estresse aplicado como tratamento ter sido moderado (40 a 60% da CC) também pode ter contribuído para as plantas não terem atingido valores mais baixos de  $\Psi_w$ .

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).

Com 63 dias de deficiência hídrica a cultivar RB965902 não apresentou diferença entre os tratamentos, sendo significativamente menos afetada pelo estresse (Figura 15). Menores  $\Psi_w$  foram observados nas cultivares RB855453 de -13,2 bar e RB92579 de -12,1 bar (Figura 15), com redução de, respectivamente, 40,45% e 51,1%. Já o genótipo RB965917 apresentou  $\Psi_w$  -10,8 bar e manteve redução de 18%.

Este trabalho sugere que o estresse moderado não foi suficiente para que as plantas atingissem reduções mais severas, pois a média do tratamento estressado, aos 63 DAT, não ultrapassou -11,2 bar. Estudos mostraram que o potencial hídrico da cana-de-açúcar, com boa disponibilidade hídrica, pode atingir  $\Psi_w$  -5 bar, enquanto sob deficiência hídrica apresenta valores menores, entre -15 a -20 bar (KOONJAH et al., 2006; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005).

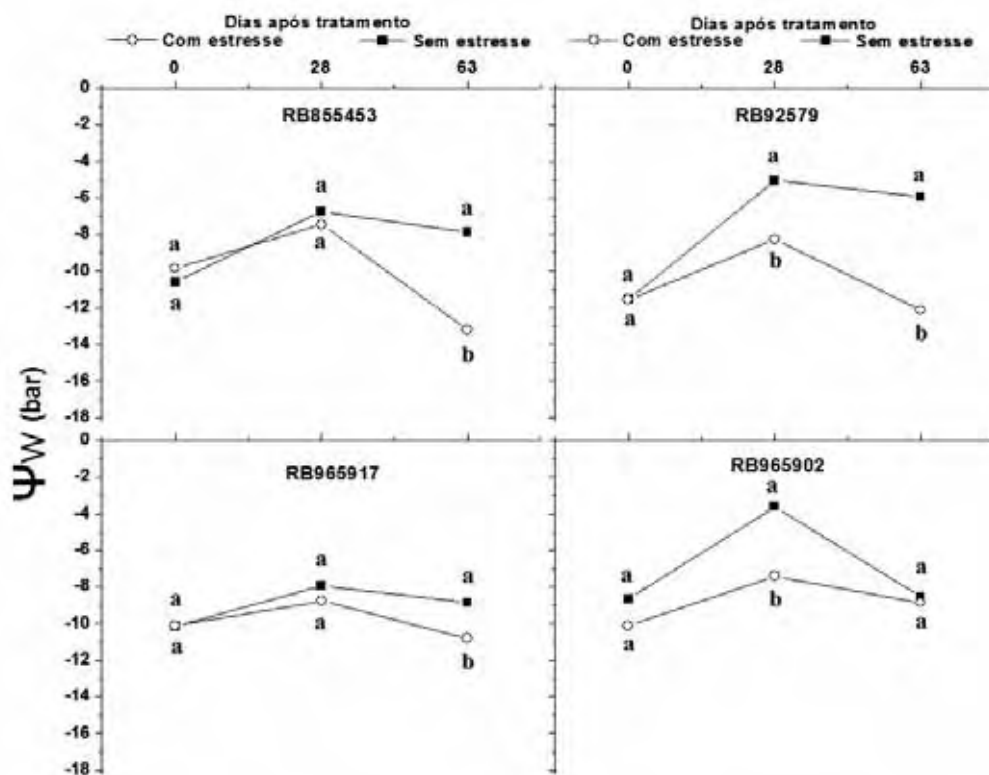


Figura 15. Potencial hídrico foliar em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, a 0, 28 e 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

#### 6.3.4 Condutância estomática ( $g_s$ )

As diferenças de condutância estomática ( $g_s$ ) nas cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao tratamento controle e sob deficiência hídrica, refletiram as variações das condições climáticas do ambiente e dos tratamentos (Figuras 17, 18 e 19).

Neste estudo foi constatado que no dia anterior ao início do estresse hídrico todas as cultivares apresentaram valores de  $g_s$  semelhantes ao longo do dia (Figura 17) apresentando picos de  $g_s$  às 10 horas da manhã, destacando-se a cultivar RB92579 com maiores médias ( $1530,6 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) (Tabela 11). Os menores valores de condutância estomática foram encontrados no período da tarde no horário das 16:00 h, onde pode-se



constar maior fechamento estomático para o genótipo RB965917 (Figura 17) com média de 348,26  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  nesse período (Tabela 11).

Tabela 11. Análise de variância da condutância estomática em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	GL	QM			
		7:00	10:00	13:00	16:00
Cultivar (C)	3	6170,406ns	296384,210**	194038,590**	407643,721**
Regime Hídrico (RH)	1	77772,722ns	40215,189ns	9205,888 ns	6481,765ns
C x RH	3	113999,317ns	71489,648ns	80503,344ns	39791,503ns
<b>CV(%)</b>		<b>18,17</b>	<b>13,63</b>	<b>16,22</b>	<b>21,23</b>
Variedades		Médias			
<b>RB855453</b>		1298,087a	1215,412bc	1083,075a	889,937a
<b>RB92579</b>		1346,458a	1530,650a	1133,002a	662,300b
<b>RB965917</b>		1358,882a	1072,650c	817,900b	348,266c
<b>RB965902</b>		1316,200a	1314,603ab	1154,610a	714,482ab
Regime hídrico		Médias			
<b>W +</b>		1280,608a	1318,779a	1064,108a	667,978a
<b>W -</b>		1379,206a	1247,878a	1030,185a	639,514a

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo ( $P<0,05$ ); \*\*: significativo ( $P<0,01$ ); C.V: coeficiente de variação.

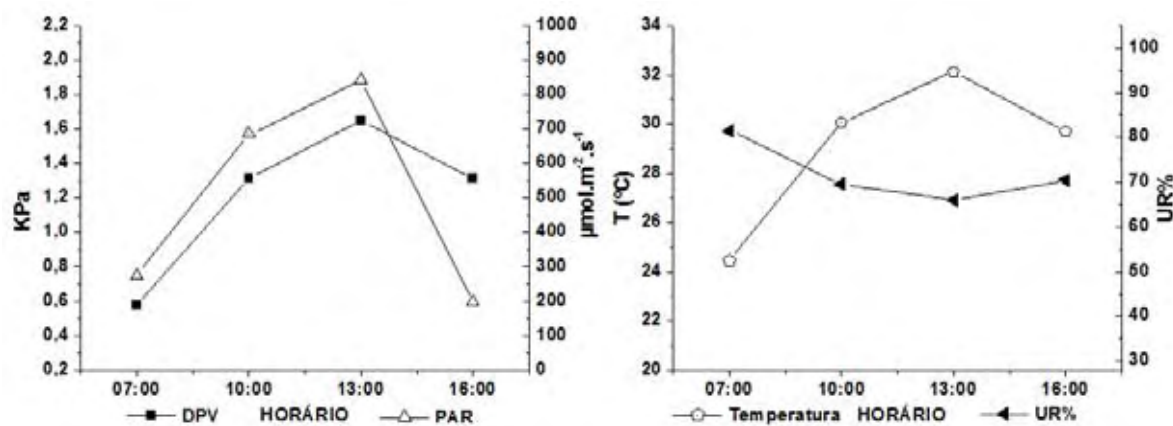


Figura 16. Medidas de DPV, radiação fotossintética ativa, temperatura e umidade do ar as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico.

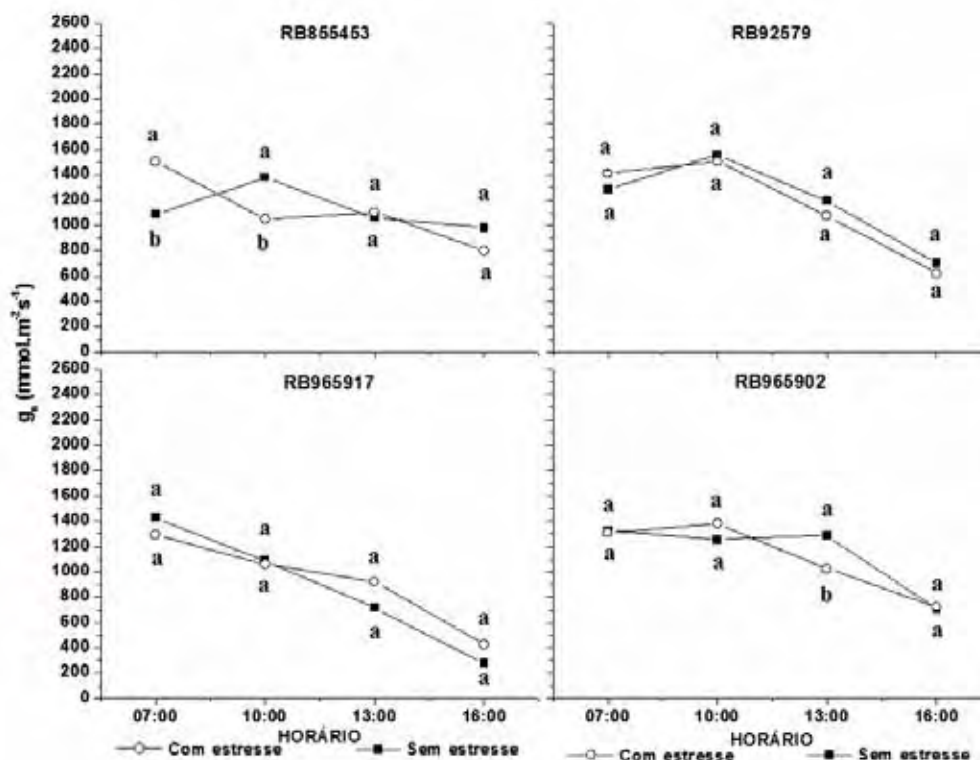


Figura 17. Condutância estomática em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

As plantas submetidas à deficiência hídrica moderada por 28 dias apresentaram decréscimo significativo de  $g_s$  em relação às plantas-controle nas quatro cultivares (Tabela 12, Figura 19). Quando avaliado o declínio de  $g_s$  ao longo do dia, pode-se observar maior fechamento dos estômatos às 10 horas da manhã na maioria dos genótipos, sendo observado reduções para RB965917 de 30,3%, RB965902 de 28,2% e para RB92579 de 35%, coincidindo com os horários de aumento de DPV, que não ultrapassou 1,0 KPa (Figura 18). Por outro lado, maiores valores de condutância estomática foram verificados entre as 13 e 16 h em todas as cultivares mesmo em condição de baixa disponibilidade hídrica do solo, fato que se deve provavelmente pelo efeito do DPV no fechamento estomático. O menor aumento

do DPV nesse período deve ter sido ocasionado pela elevada umidade do ar e baixas temperaturas desse dia (Figura 18).

O fechamento dos estômatos objetiva minimizar a perda de água, atuando como um mecanismo de defesa ao dessecamento, contudo, simultaneamente limita a assimilação de CO<sub>2</sub> (PIMENTEL, 2004), mas também podem fechar quando o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar aumenta (OREN et al., 2001).

Tabela 12. Análise de variância da condutância estomática em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de variação	GL	QM			
		7:00	10:00	13:00	16:00
Cultivar (C)	3	415595,442*	493347,045*	476848,595*	148901,275ns
Regime Hídrico (RH)	1	1202978,871*	3379070,563*	43123,237ns	139835,872ns
C x RH	3	752143,885*	183623,426ns	139574,882ns	219016,518ns
<b>CV(%)</b>		<b>16,25</b>	<b>19,58</b>	<b>17,06</b>	<b>18,04</b>
Variedades		Médias			
RB855453		1676,928ab	1162,550b	1703,512a	2058,171a
RB92579		1275,418c	1637,483a	1358,450bc	1939,983a
RB965917		1390,866bc	1133,833b	1515,000ab	1939,983a
RB965902		1754,096 a	1493,821ab	1127,133c	1732,033a
Regime hídrico		Médias			
W +		1718,216a	1681,877a	1462,733a	1833,500a
W -		1330,438b	1031,966b	1389,314a	1965,710a

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05); \*\*: significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.

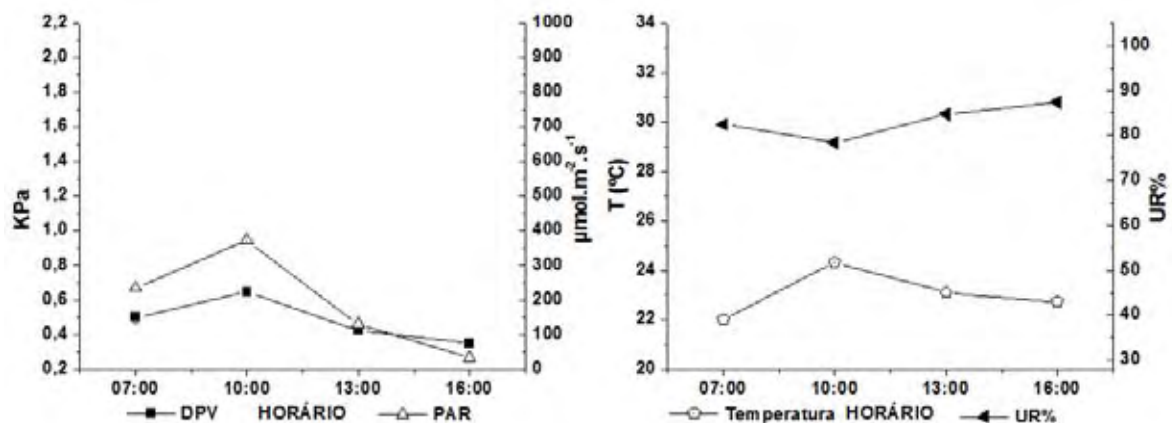


Figura 18. Medidas de DPV, radiação foto, temperatura e umidade do ar as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico.

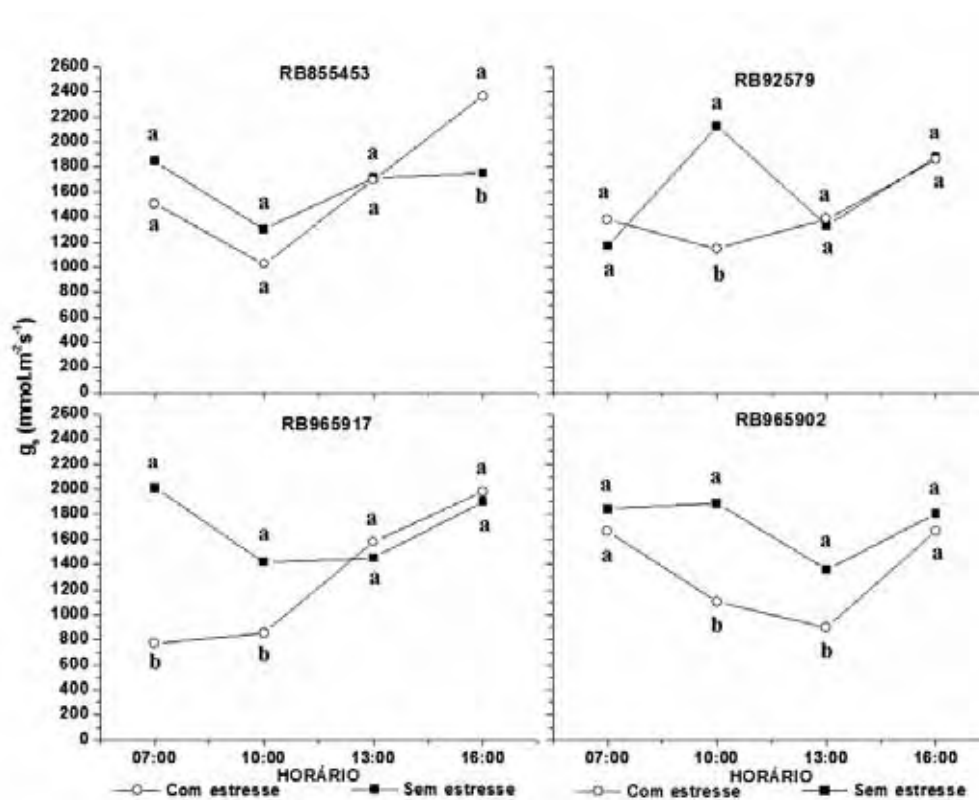


Figura 19. Condutância estomática em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

As plantas submetidas à deficiência hídrica por 63 dias de suspensão da rega apresentaram redução significativa da condutância estomática ( $g_s$ ) em relação às plantas-controle em todas as cultivares (Figura 21). Porém, foi observado maior decréscimo de  $g_s$  no período da tarde no horário entre 13 a 16 h coincidindo com os horários de maior DPV e maior temperatura (Figura 20). Nesse horário, foi observado fechamento estomático semelhante para todas as cultivares, devido aos valores de condutância estomática estarem próximos de  $200 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (Figura 21). Esses resultados mostram que, sob estresse moderado, uma das primeiras respostas dessas cultivares pode ser o fechamento estomático, o qual reduz a transpiração, diminuindo a capacidade de refrigeração da folha e aumentando a temperatura deste órgão, uma vez que a folha continua recebendo luz, causando elevação no DPV (ARAÚJO et al., 2010).

Destaca-se a cultivar RB855453 que apresentou maiores reduções de  $g_s$  ao longo do dia em ambos os tratamentos. Estes resultados evidenciam que esse genótipo apresentou maior sensibilidade ao fechamento dos estômatos ao longo da deficiência hídrica.

Esses resultados corroboram com os relatados por Pincelli (2010) que notou maiores reduções na condutância estomática na variedade RB72454 de cana-de-açúcar, afirmando que tal variável apresenta maior sensibilidade a medida que o solo se torna mais seco. Gonçalves et al. (2010) estudaram quatro genótipos de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica e também constataram que correu tendência de redução na  $g_s$  ao longo do tempo.

Silva et al. (2012), estudando cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, verificaram que a redução de  $g_s$  foi menor em genótipos tolerantes, os autores sugerem que a redução estomática e maiores taxa fotossintética foram identificados como alguns mecanismos fisiológicos responsáveis pela tolerância à seca.

Tabela 13. Análise de variância da condutância estomática em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	GL	QM			
		7:00	10:00	13:00	16:00
Cultivar (C)	3	89895,604ns	61105,512*	145376,448*	61627,962*
Regime Hídrico (RH)	1	942863,151*	1850051,154*	883718,651*	638551,704*
C x RH	3	17959,768ns	67206,472*	27410,733ns	17231,639ns
<b>CV(%)</b>		<b>23,35</b>	<b>14,34</b>	<b>25,33</b>	<b>39,86</b>
Variedades		Médias			
RB855453		1014,775 <sup>a</sup>	737,441 <sup>b</sup>	300,391 <sup>c</sup>	249,633 <sup>ab</sup>
RB92579		865,100 <sup>a</sup>	796,100 <sup>ab</sup>	593,966	320,300 <sup>ab</sup>
RB965917		966,067 <sup>a</sup>	941,783 <sup>a</sup>	529,133 <sup>ab</sup>	384,283 <sup>a</sup>
RB965902		777,166 <sup>a</sup>	792,975 <sup>ab</sup>	378,266 <sup>bc</sup>	181,262 <sup>b</sup>
Regime hídrico		Médias			
W +		1077,429 <sup>a</sup>	1057,520 <sup>a</sup>	616,620 <sup>a</sup>	425,131 <sup>a</sup>
W -		734,125 <sup>b</sup>	576,629 <sup>b</sup>	284,258 <sup>b</sup>	142,608 <sup>b</sup>

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ); C.V: coeficiente de variação.

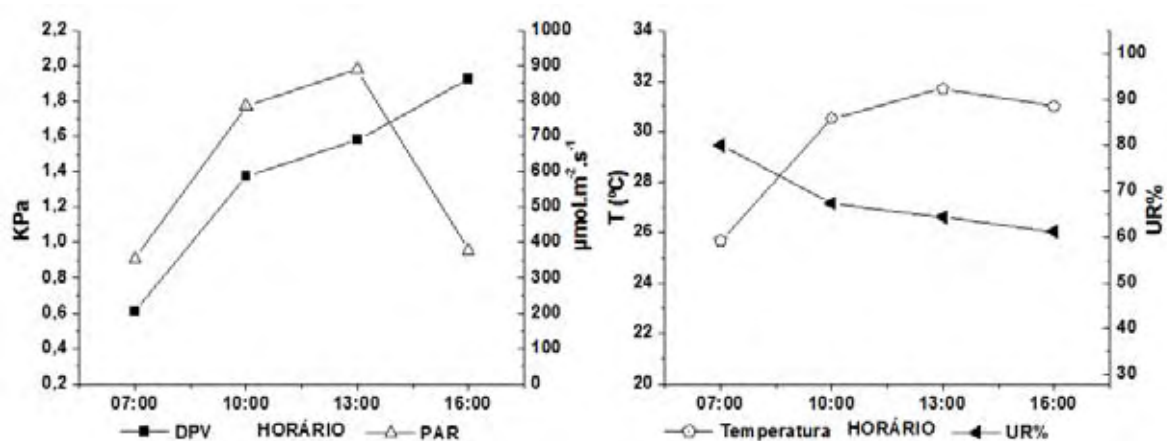


Figura 20. Medidas de DPV, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura e umidade do ar as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico.

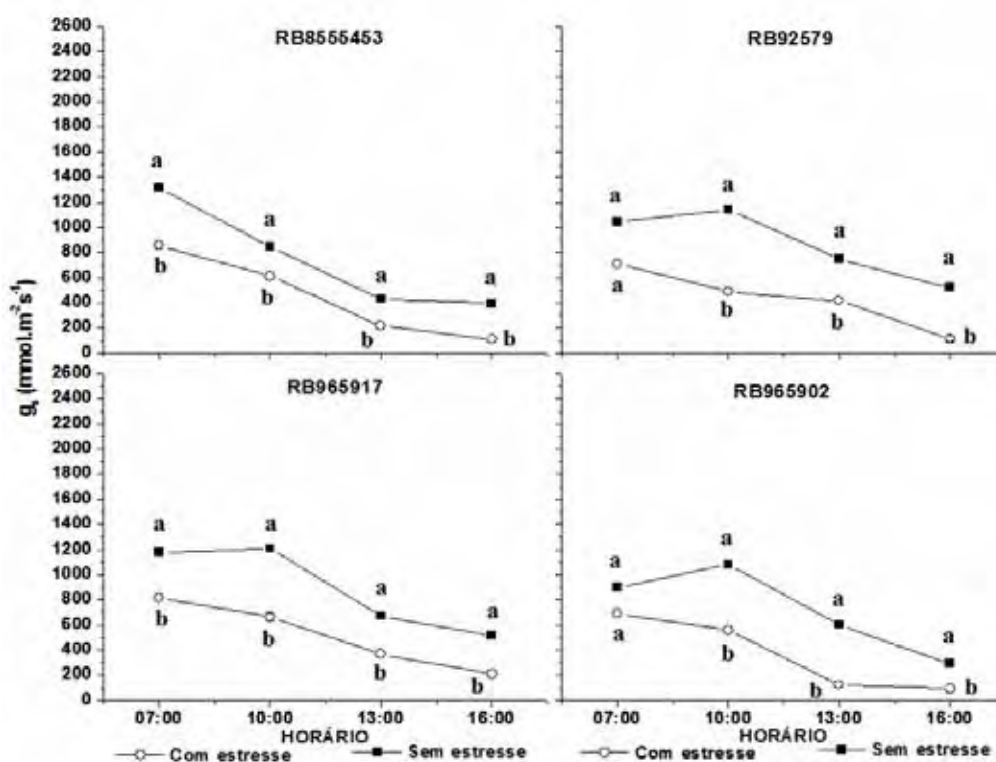


Figura 21. Condutância estomática em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

### 6.3.5 Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm)

A fonte de variação cultivar foi significativa apenas na primeira avaliação (0 DAT) às 13:00 horas, e na segunda avaliação (28 DAT), em todos os horários. O regime hídrico não foi significativo em nenhum momento. A interação entre cultivar e regime hídrico foi significativo em apenas um momento, às 7:00 h da terceira avaliação (63 DAT) (Tabelas 14, 15 e 16).

Aos 63 DAT, as cultivares tiveram comportamento parecido em todas as avaliações, não se diferenciando significativamente quanto a regime hídrico, entretanto o genótipo RB92579 teve diferenças às 7:00 e 10:00 horas e RB855453 às 16:00 horas (Figura

22), embora nesse último caso o tratamento com estresse teve maior valor que o controle. De toda forma foram eventos isolados.

Esse comportamento provavelmente ocorreu devido às condições de temperatura e luminosidade nos dias da avaliação (Figuras 16, 18 e 20). Como foi comentado anteriormente, as avaliações ocorreram em condições de baixa temperatura e luminosidade. Esses fatores, somados ao fato do estresse aplicado como tratamento ter sido moderado (40 a 60% da CC), podem ter contribuído para a não diferenciação dos tratamentos para Fv/Fm.

As médias da razão Fv/Fm observadas durante todo o experimento para o tratamento com estresse não foram menores que 0,756, valor que se encontra entre 0,75 e 0,85, intervalo que Silva et al. (2007) descrevem como sendo de plantas que estão com o aparelho fotossintético sem danos.

Fatores como horário da medição, estação de crescimento, a posição da folha, tempo de adaptação ao escuro, temperatura e intensidade de luz durante o ensaio podem influir nas medidas de fluorescência da clorofila. Portanto, para evitar erros experimentais e falhas nas interpretações dos dados, é importante minimizar a influência dos fatores externos durante as avaliações (CAMPOSTRINI, 1997).



Tabela 14. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	GL	QM			
		7:00	10:00	13:00	16:00
Cultivar (C)	3	0,000054 ns	0,000003 ns	0,000925*	0,000286 ns
Regime Hídrico (RH)	1	≈0,000 ns	0,000003 ns	0,000050 ns	0,000153 ns
C x E	3	0,000025 ns	0,000036 ns	0,000042 ns	0,000011 ns
<b>CV(%)</b>		<b>1,02</b>	<b>1,13</b>	<b>0,86</b>	<b>1,8</b>
<b>Variedades</b>		<b>Médias</b>			
RB855453		0,787 <sup>a</sup>	0,772a	0,758b	0,757a
RB92579		0,790a	0,771a	0,763b	0,761a
RB965917		0,793a	0,772a	0,782a	0,766a
RB965902		0,791a	0,772a	0,775a	0,771a
<b>Regime hídrico</b>		<b>Médias</b>			
W +		0,790a	0,772a	0,768a	0,761a
W -		0,790a	0,771a	0,771a	0,766a

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05);

\*\* : significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.

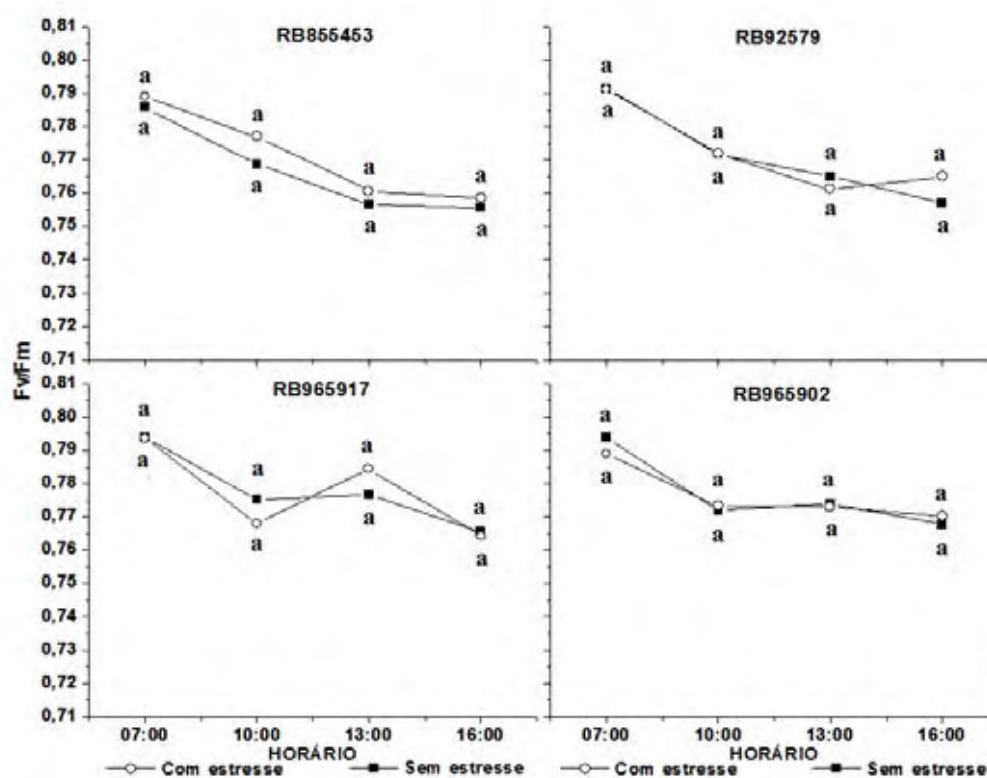


Figura 22. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 0 dia após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Tabela 15. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	GL	QM			
		7:00	10:00	13:00	16:00
Cultivar (C)	3	0,000108*	0,000386*	0,000242*	0,000245*
Regime Hídrico (RH)	1	0,000013ns	0,000028ns	≈0,000ns	0,000028ns
C x RH	3	0,000054ns	0,000053ns	0,000042ns	0,000036ns
<b>CV(%)</b>		<b>0,78</b>	<b>1,24</b>	<b>0,86</b>	<b>0,6</b>
<b>Cultivar</b>		<b>Médias</b>			
RB855453		0,782b	0,767ab	0,776b	0,780b
RB92579		0,791a	0,768ab	0,780ab	0,781b
RB965917		0,787ab	0,778ab	0,785ab	0,791a
RB965902		0,788ab	0,781a	0,788a	0,788a
<b>Regime hídrico</b>		<b>Médias</b>			
W +		0,788a	0,775a	0,782a	0,784a
W -		0,786a	0,773a	0,782a	0,786a

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05); \*\*: significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.

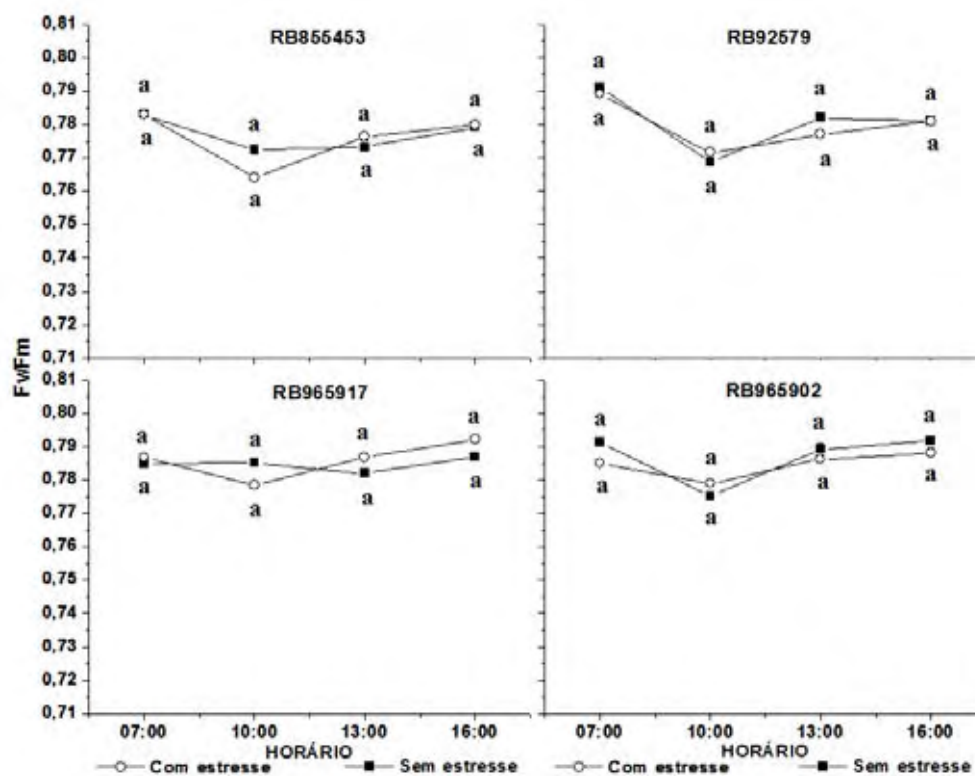


Figura 23. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 28 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Tabela 16. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	GL	QM			
		7:00	10:00	13:00	16:00
Cultivar (C)	3	0,000538ns	0,000046ns	0,000246ns	0,000478ns
Regime Hídrico (RH)	1	0,000800ns	0,000200ns	0,000200ns	0,000253ns
C x RH	3	0,001092*	0,000550ns	0,000050ns	0,000536ns
<b>CV(%)</b>		<b>2,39</b>	<b>2,28</b>	<b>2,37</b>	<b>2,1</b>
<b>Variedades</b>					
RB855453		0,771a	0,761a	0,761a	0,770a
RB92579		0,775a	0,761a	0,758a	0,761a
RB965917		0,790a	0,758a	0,771a	0,777a
RB965902		0,781a	0,756a	0,766a	0,777a
<b>Regime hídrico</b>					
W +		0,784a	0,761a	0,761a	0,768a
W -		0,774a	0,756a	0,766a	0,774a

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05);

\*\* : significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.

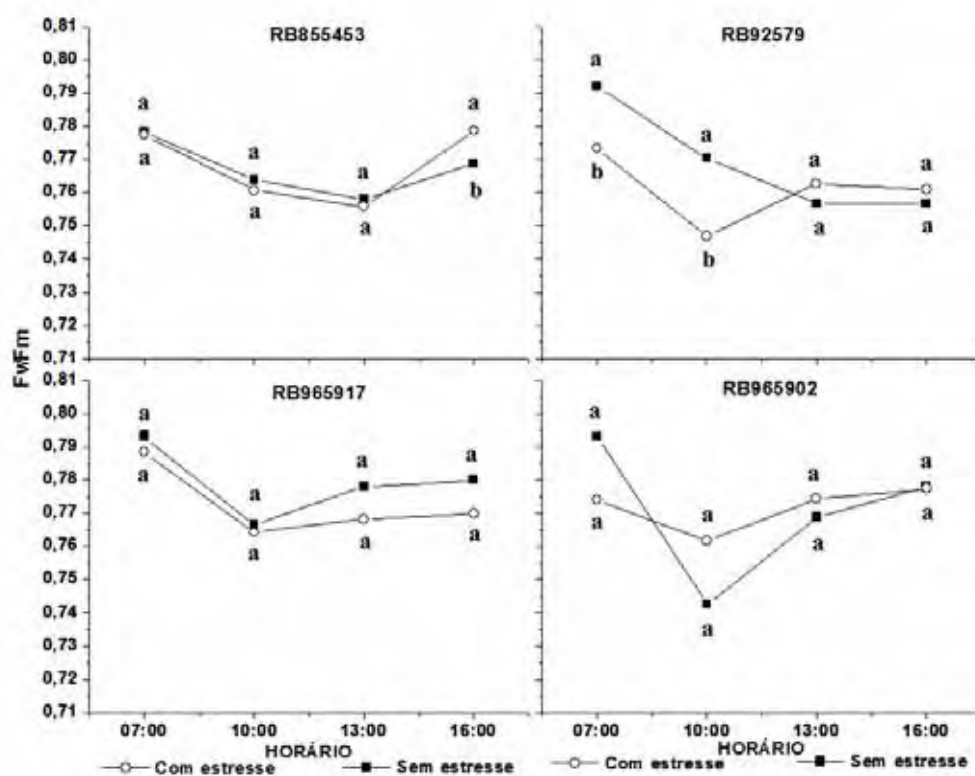


Figura 24. Máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em quatro cultivares de cana-de-açúcar, submetidas à deficiência hídrica, as 7:00, 10:00, 13:00 e 16:00 horas, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

#### 6.4 Matéria seca da parte aérea e das raízes

A fonte de variação regime hídrico foi altamente significativo ( $P < 0,01$ ) para matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR). Para cultivar, não houve efeito significativo em nenhuma das variáveis (Tabela 4).

A diferença entre os tratamentos foi acentuada, com redução de 44,7 % para MSPA e 43,6 % para MSR. Para MSPA, a cultivar RB855453 obteve os melhores resultados, tanto no tratamento com estresse (92,0 g) quanto no sem estresse (161 g), e também teve a menor redução entre os tratamentos (42,9 %). A cultivar RB92579 teve resultados ligeiramente menores, com redução de 43,1% entre os tratamentos, 158 g de MSPA no tratamento sem estresse e 90,0 g no tratamento com estresse. O pior desempenho foi da cultivar RB965917, que teve os menores valores de MSPA em ambos os tratamentos, com 135 g no sem estresse e 71 g no com estresse (Figura 6), além da maior redução (47,2 %). Esses valores são similares aos encontrados por Silva (2010) em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, com reduções de 40% na matéria seca da parte aérea. Já Gonçalves (2008), em experimento semelhante, encontrou reduções de até 52% em estresse hídrico severo.

Para MSR (Figura 6), a variedade RB855453 alcançou o maior resultado no tratamento sem estresse (156,0 g). No tratamento com estresse, as cultivares RB92579 e RB965917 tiveram os maiores valores, em torno de 84,0 g. Embora o genótipo RB855453 tenha tido a maior redução (47,3%), não significa um resultado ruim, pois a diferença maior entre os tratamentos é devida ao valor mais alto que as demais variedades no tratamento sem estresse, enquanto que no tratamento com estresse, teve um resultado próximo ao maior valor (82,5 g). A variedade RB965917 teve um comportamento contrastante com o obtido em MSPA, alcançando a menor redução (40,8%), além de ter o maior valor de MSR no tratamento com estresse. Os menores valores de MSR foram de RB965902, com 131,0 g no tratamento sem estresse e 74,0 g no tratamento com estresse.

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  $CO_2$  e dessa forma, também o acúmulo de biomassa (CAVATTE et al., 2011).

Tabela 17. Análise de variância de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR) em cana-de-açúcar, sob efeito de cultivar e regime hídrico, 63 dias após o início do estresse hídrico, em Botucatu – SP.

Fontes de Variação	G.L.	QM	
		MSPA	MSR
Cultivar (C)	3	896,102ns	406,083ns
Regime hídrico (RH)	1	36767,940**	31375,125**
C x RH	3	15,556ns	120,875ns
<b>CV(%)</b>		<b>16,15</b>	<b>23,77</b>
<b>Variedades</b>		<b>Médias</b>	
RB855453		126,66a	119,50a
RB92579		124,12a	114,37a
RB965917		103,12a	112,62a
RB965902		116,25a	102,50a
<b>Regime hídrico</b>		<b>Médias</b>	
W +		151,43a	143,56a
W -		83,64b	80,93b

G.L: graus de liberdade; QM: quadrado médio; ns: não significativo; \*: significativo (P<0,05)\*\*: significativo (P<0,01); C.V: coeficiente de variação.



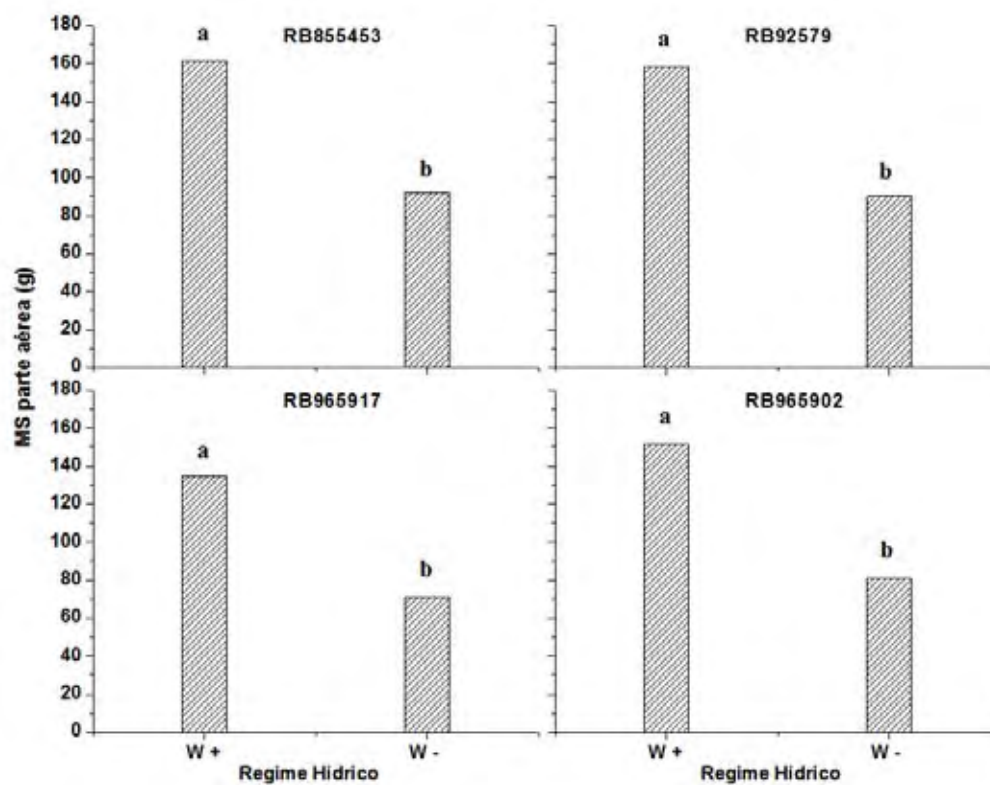


Figura 25. Matéria seca da parte aérea de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, aos 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

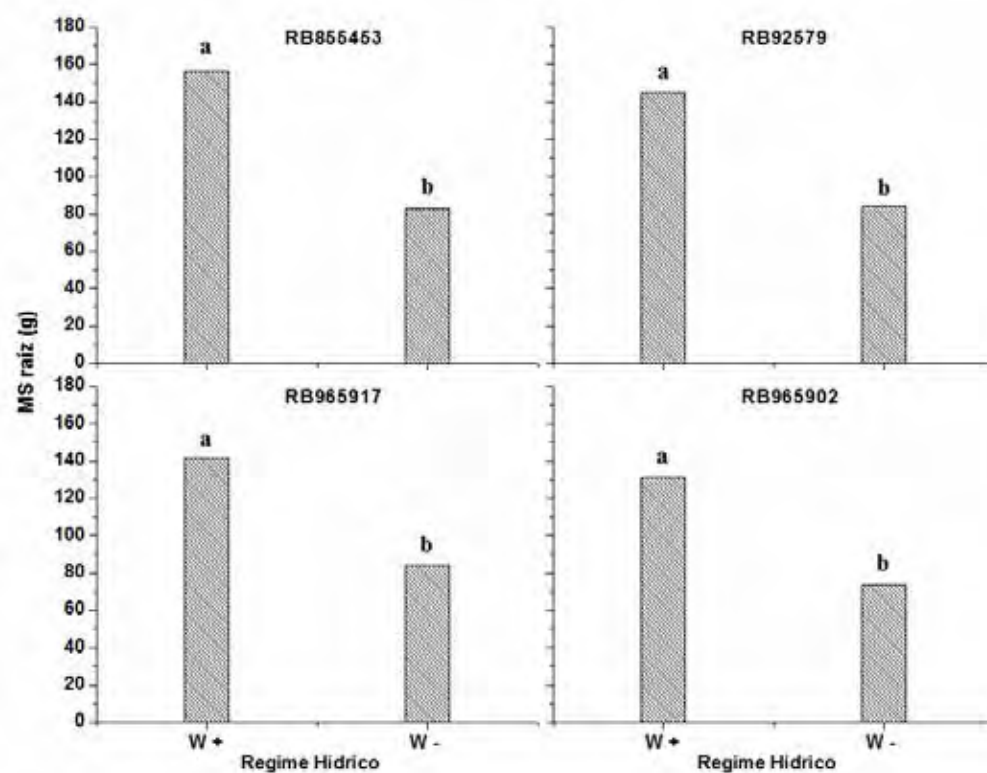


Figura 26. Matéria seca das raízes de quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, sem e com deficiência hídrica, aos 63 dias após o início dos tratamentos, em Botucatu – SP.

## 7 CONCLUSÕES

As variáveis morfológicas foram eficientes em diferenciar as cultivares tolerantes e suscetíveis ao estresse hídrico.

A variável largura da folha teve menor sensibilidade ao nível de estresse aplicado, sendo necessários estresses mais severos para causar reduções mais significativas.

As variáveis fisiológicas não apresentaram boa eficiência na diferenciação das cultivares tolerantes e suscetíveis, o que pode ter sido causado pelas condições ambientais durante as avaliações.

As cultivares RB855453 e RB92579 produziram mais matéria seca da parte aérea e das raízes sob deficiência hídrica, podendo ser consideradas como tolerantes.

As cultivares RB965902 e 965917 foram consideradas como suscetíveis ao déficit hídrico, pois tiveram as menores produções de matéria seca da parte aérea e das raízes.

## 8 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. A. C. A. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.
- BAKER, N. R.; EAST, T. M.; LONG, S. P. Chilling damage to photosynthesis in young *Zea Mays*. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 139-189, 1983.
- BARBOSA, G. V. S. et al. **Novas variedades RB de cana-de-açúcar para Alagoas**. Maceió: Ed. UFAL, 2000. 16p.
- CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a**: considerações teóricas e aplicações práticas. 1997. Disponível em: <<http://www.uenf.br/downloads/ApostiladeFluorescencia.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2012.
- 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.
- 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.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. **Agricultural Sciences in China**, Beijing, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2009.

DAROS, E. C. et al. **Liberação nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 2010. 64 p.

FRITSCHÉ-NETO, R.; DOVALE, J. C.; CAVATTE, P. C. Melhoramento para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos? In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde de Rio Branco: Suprema, 2011. p. 29-38.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quarto 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.

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

HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Ed.). **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 148-152.

HERMANN, E. R.; CÂMARA; G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

HOFFMANN, H. P. et al. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Araras: Ed. UFSCAR, 2008. 30 p.

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. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 41-51, 1994.

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

KRAMER, P. J. Drought, stress, and the origin of adaptations. In: TURNER N. C.; KRAMER J. P. (Ed.). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: Wiley, 1980. p. 7-20.

- KOONJAH, S. S. et al. A quantitative of water stress effect on sugarcane photosynthesis. South African Sugar Technologists' Association, Mount Edgecombe, n. 80, p. 148, 2006.
- LANDELL, M. G. A. et al. A interação entre a cana-de-açúcar e ambientes de produção estressantes. In: CRUSCIOL, C. A. C. et al. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. v. 1, p. 34-42.
- LARCHER, W.; CERNUSCA, A. Mikrocomputergesteuerte mobile Anlage zum fluorometrischen Nachweis Von Photosynthesestörungen. **Bericht der Oesterreichische Akademie der Wissenschaften**, Vienna, v. 194, p. 45, 1985.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, Londres, v. 148, p. 350-382, 1987.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 103, n. 2, p. 115-134, 1977.
- MACHADO, R. S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2009001200003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009001200003)>. Acesso em: 28 jun. 2012.
- MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 113-118.
- MCCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 353-360, 1989.
- OGREN, E.; OQUIST, G. Effect of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition susceptibility in intact willow leaves. **Planta**, Berlin, v. 166, n. 3, p. 380-388, 1985.
- 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.
- 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.
- PÁEZ, A. et al. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 698-706, 1995.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Rio de Janeiro: Edur, 2004. 191 p.

- PINCELLI, R. P. **Tolerância a deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, 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**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.
- RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. **Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas de Jequitibá-Rosa (*Cariniana legalis*)**. Colombo: EMBRAPA, 2004. (Comunicado Técnico, 128).
- SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- SHAFIR-UR-REHMAN; HARRIS, P. J. C.; ASHRAF, M. Stress environments and their impact on crop production. In: ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. 2005. **Abiotic stress: plant resistance through breeding and molecular approaches**. New York: Food Products Press. 725 p.
- SILVA, M. A. Use of physiological parameters in screening drought tolerance in sugarcane genotypes. **Sugar Tech**, Nova Dehli, v. 13, p. 191-197, 2011.
- SILVA, D. K. T. et al. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 6, n. 1/2, p. 47-53, 2005.
- SILVA, M. A. et al. 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 as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.
- SILVA, P. P. et al. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 37, p. 11-19, 2012.
- SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, p. 171-178, 2004.

SOUSA, A. J. R. et al. Variedades e clones RB (República do Brasil) de cana-de-açúcar, obtidos em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 552-556.

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

TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**, Paris, v. 337, n. 1-2, p. 57-67, 2005.

UNICA. **Etanol e bioeletricidade**: vitais para diversificação da matriz energética nacional. 2012. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={D50FFF17-469C-4EE9-A890-C50918027692}>> Acesso em: 28 jun. 2012.

UNICA. **Histórico de produção e moagem**. 2012. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>> Acesso em: 28 jun. 2012.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, v. 1, p. 187-206, 2003.