



**FERNANDO HENRIQUE SILVA GARCIA**

**DINÂMICA TEMPORAL DO ESTADO  
FISIOLÓGICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB  
DÉFICIT HÍDRICO**

**LAVRAS - MG**

**2015**

**FERNANDO HENRIQUE SILVA GARCIA**

**DINÂMICA TEMPORAL DO ESTADO FISIOLÓGICO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio (a) autor (a).**

Garcia, Fernando Henrique Silva.

Dinâmica temporal do estado fisiológico de cana-de-açúcar  
sob déficit hídrico / Fernando Henrique Silva Garcia. – Lavras :  
UFLA, 2015.

57 p.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientador: João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa.  
Bibliografia.

1. Homeostase. 2. Plasticidade fenotípica. 3. Déficit hídrico. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**FERNANDO HENRIQUE SILVA GARCIA**

**DINÂMICA TEMPORAL DO ESTADO FISIOLÓGICO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 6 de julho de 2015.

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

UFLA

Dra. Vânia Aparecida Silva

EPAMIG

Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

*Ao meu Deus, por me conceder a  
vida e a sua graça manifestada pelo amor de seu filho JESUS CRISTO.  
Aos meus pais, por todo incentivo, apoio e orientação concedidos para eu  
prosseguir e aprimorar meus conhecimentos.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A meu DEUS, pelo seu amor, misericórdia e compaixão manifestada em Jesus Cristo; por me proporcionar saúde para alcançar mais esta conquista. Sua mão sempre esteve diante de mim para guiar meus passos.

Aos meus pais Eneida Maria Silva Garcia e Lucas Garcia Neto e meus irmãos Hudson Venâncio Silva Garcia e Layse Cristina Silva Garcia, por todo incentivo e apoio adiante de todos os desafios enfrentados.

Ao meu amigo, irmão e orientador Dr. Joao Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa, por todos os ensinamentos e correções acadêmicas durante o mestrado; além dos ensinamentos de vida.

À minha família de Lavras, meus grandes amigos Valdemir, Nilson e Cláudio Montenegro, pelo acolhimento, companheirismo e amizade durante toda minha estadia em Lavras.

À II Igreja Presbiteriana, pelo acolhimento e fortalecimento da minha fé em Cristo Jesus.

Aos meus amigos Dr. Cecílio e professor Marcelo Rodrigues, por todos os aprendizados científicos, baseados em muitas discussões científicas. As conversas que tivemos em nível profissional e pessoal me ajudaram bastante.

Ao grupo de pesquisa em Fisiologia Vegetal, pela disposição em executar os ciclos de atividades da pesquisa e por me proporcionarem algumas vezes o sono dos cansados.

Aos funcionários do setor Fisiologia Vegetal Joel, Odorêncio e Tahan, por toda ajuda, disposição e orientação na execução do trabalho.

Aos professores do curso de Fisiologia Vegetal da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e pela ótima convivência durante esses anos.

Ao “núcleo” Viviane, Roniel e Daynara, pela boa convivência durante a realização das disciplinas do mestrado, além dos momentos extrovertidos que passamos juntos.

Aos grupos Aliança Bíblica Universitária (ABU) e Cristã da Fisiologia Vegetal, que me proporcionaram crescimento espiritual e a ampliação de laços de amizade dentro da universidade.

Aos meus amigos Juliene, Pedro, Na Yoko, Suelen e Paula Santini, por todos os momentos que passamos juntos, pelos conselhos e correções.

À Vera, Neander e Evanildo, meus consoladores, que muito me motivaram diante das minhas dificuldades através de seu exemplo de vida.

À Universidade Federal de Lavras por conferir infraestrutura para realização desta pesquisa.

Ao Comitê Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da bolsa de estudo.

“Ó profundidade das riquezas, tanto da sabedoria, como da ciência de Deus!  
Quão insondáveis são os seus juízos, e quão inescrutáveis os seus caminhos!  
Por que quem compreendeu a mente do Senhor? Ou quem foi seu conselheiro?  
Ou quem lhe deu primeiro a ele, para que lhe seja recompensado?  
Porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas; glória, pois, a ele  
eternamente. Amém.”

**Romanos 11: 33-36**

*“E, demais disto, filho meu, atenta: não há limite para fazer livros, e o muito  
estudar é enfado da carne.  
De tudo o que se tem ouvido, o fim é: Teme a Deus, e guarda os seus  
mandamentos; porque isto é o dever de todo o homem.  
Porque Deus há de trazer a juízo toda a obra, e até tudo o que está encoberto,  
quer seja bom, quer seja mau.”*

## RESUMO

No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal cultura agrícola para a geração de energia limpa, proporcionada pela sua alta produção de biomassa no campo associada ao balanço energético positivo para produção de biocombustível. Entretanto, nesses últimos anos, o cultivo de cana-de-açúcar sofreu redução significativa na sua produção devido a frequentes períodos de veranicos sucedidos ao longo do ano. Dessa forma, a exposição temporal da cana-de-açúcar ao déficit hídrico poderia induzir alterações nos mecanismos fisiológicos, a fim de minimizar os efeitos negativos de sucessivos períodos de restrição hídrica. Objetivou-se neste trabalho avaliar a dinâmica temporal do estado fisiológico de quatro variedades de cana-de-açúcar sob déficit hídrico. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras, com as variedades de cana-de-açúcar: RB867515 e RB835486(Tolerantes) e RB 72454 e RB 855453(Suscetíveis) submetidas a dois ciclos de déficit hídrico e um de reidratação. As variáveis fisiológicas analisadas foram: potencial hídrico máximo e mínimo, taxa de fotossíntese, condutância estomática, transpiração, taxa de respiração, concentração de clorofila, teor relativo de água e concentração de sacarose, amido e açúcar redutor na folha. Os dados coletados foram submetidos à análise de componentes principais. Observou-se que as variedades de cana-de-açúcar apresentaram decréscimos em todas as variáveis fisiológicas analisadas após a exposição ao primeiro ciclo de déficit hídrico. Contudo, na segunda exposição ao déficit hídrico, as variedades apresentaram plasticidade, por uma menor diferença nas variáveis fisiológicas, com o controle em comparação ao primeiro ciclo de déficit hídrico. Observou-se neste trabalho que os parâmetros fotossintéticos podem ser os moduladores da alteração dos estados fisiológicos das plantas frente ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Déficit hídrico. Fotossíntese. Homeostase. Plasticidade fenotípica. Tolerância.

## ABSTRACT

In Brazil, sugarcane is the main agricultural crop for clean power generation, provided by its high biomass production in the field, associated with positive energy balance for biofuel production. However, in recent years, sugarcane cultivation suffered significant reduction in production due to frequent periods of dry spells over the years. Thus, the period of time of sugarcane exposure to drought could cause changes in the physiological mechanisms in order to minimize the negative effects of successive periods of water restriction. The aim of this study was to evaluate the temporal dynamics of physiological state of four varieties of sugarcane under drought. The experiment was conducted at the Universidade Federal de Lavras, with the sugarcane varieties: RB867515 and RB835486 (tolerant) and RB 72454 and RB 855453 (susceptible), submitted to two cycles of drought and rehydration. Were analyzed the physiological variables: maximum and minimum water potential, photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration, respiration rate, chlorophyll concentration, relative water content and concentration of sucrose, starch and reducing sugar in the leaf. Data were submitted to principal component analysis. It was observed that the varieties of sugarcane showed decreases in all physiological variables analyzed after exposure to the first water deficit cycle. However, in the second exposure to drought, the varieties showed plasticity, for a smaller difference in physiological parameters to control compared to the first water deficit cycle. It was observed in this work that photosynthetic parameters can be modulators of changing physiological states of the front plants to water deficit.

Keywords: Water deficit. Photosynthesis. Homeostasis. Phenotypic plasticity. Tolerance.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Informações das variedades de cana-de-açúcar classificadas de acordo com as maturidades fisiológicas(MF) e tolerância ao déficit hídrico (TDH) descrito pela RIDESA, conforme a produtividade apresentada pelas variedades.....	22
Tabela 2	Análise de Componentes Principais (PCA), contendo os valores de autovetores da variedade RB 72454(A) avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.....	33
Tabela 3	Análise de Componentes Principais(PCA), contendo os valores de autovetoresda variedade RB 867515 avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.....	34
Tabela 4	Análise de Componentes Principais(PCA), contendo os valores de autovetoresda variedade RB 835486 avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.....	35
Tabela 5	Análise de Componentes Principais(PCA), contendo os valores de autovetores da variedade RB 855453 avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.....	36
Tabela 6	Distância dos <i>scores</i> médio no tempo das variedades de cana-de-açúcar: RB72454(A), RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos: controle (R) e déficit hídrico (SR) .....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Impacto do déficit hídrico na planta</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>A planta como sistema biológico complexo</b> .....	16
<b>2.3</b>	<b>Plasticidade fenotípica e tolerância ao déficit hídrico</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Cana-de-açúcar</b> .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
<b>3.1</b>	<b>Variedades de cana-de-açúcar</b> .....	21
<b>3.2</b>	<b>Condução do experimento</b> .....	22
<b>3.3</b>	<b>Estado hídrico das plantas</b> .....	23
<b>3.4</b>	<b>Trocas gasosas</b> .....	24
<b>3.5</b>	<b>Conteúdo de carboidratos</b> .....	24
<b>3.6</b>	<b>Análise de dados</b> .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	42
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43
	<b>APÊNDICE</b> .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é reconhecida com uma das mais importantes culturas agrícolas no mundo, devido à sua aptidão para acúmulo de sacarose no colmo, o que faz com que a grande maioria do açúcar fornecido no mercado internacional seja proveniente dessa cultura. No Brasil, além da produção de açúcar, a cana também se destaca por fazer parte da matriz energética, através da produção de biocombustíveis (etanol) e bioenergia, a partir do bagaço e da palha. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, e nesta última década expandiu seu cultivo em 51%, chegando a atingir 658 milhões de toneladas produzidas em 2013(CONAB, 2015).

Apesar de toda expansão na área de cultivo e do aumento de produção nos últimos anos, a produtividade da cana-de-açúcar é, de forma geral, bastante suscetível a condições de déficit hídrico. Por exemplo, observou-se a redução da produção no Sudeste brasileiro, principal região produtora nacional, em decorrência do déficit hídrico provocado pela estiagem prolongada que acometeu a região na safra de 2014-2015(CONAB, 2015).

O déficit hídrico é causado pela redução temporal da disponibilidade hídrica no solo associada ao alto déficit de pressão de vapor na atmosfera e baixos índices de precipitação pluviométrica. Essa condição ambiental causa balanço hídrico negativo, que conduz a desidratação nos tecidos da planta e provoca diversos efeitos negativos, como: alterações no padrão da fotossíntese e respiração da planta, resultando em um balanço de carbono negativo, proporcionando uma menor concentração de açúcares na folha e no colmo. Alterações visuais também são observadas como, por exemplo, a degradação da clorofila e o enrolamento e murcharão das folhas. Esses danos podem resultar em menor produção de biomassa e acúmulo de sacarose no colmo.

As alterações morfofisiológicas não são processos isolados, mas resultam de uma cadeia de eventos metabólicos conectados em redes complexas. Tal sistema é altamente organizado e hierarquizado, apresentando potencial de se ajustar em função das perturbações produzidas pelo ambiente, a fim de manter a homeostase do organismo.

Desta forma, a compreensão da dinâmica de ajuste do sistema biológico frente a variações ambientais no tempo, apesar de bastante desafiadora, contribui para inovações tecnológicas no manejo da cultura e para a seleção precoce de variedades mais tolerantes em programas de melhoramento. Uma forma de estudar essa dinâmica é através de séries temporais, de elevadas resoluções, com diversas variáveis que retratem o comportamento fisiológico da cana-de-açúcar em eventos de ocorrência de ciclos prolongados e intensos de déficit hídrico associado à reidratação. Com essas séries temporais, seria possível verificar a modulação das respostas frente à imposição e remoção da condição adversa. Quanto maior é a eficiência de uma planta para modular sua rede de respostas e manter estável seu funcionamento, maior é a sua tolerância frente a uma condição de estresse. Além disso, é possível verificar quais mecanismos possuem maior participação na modulação do sistema de rede e verificar a capacidade da cultura em retornar seu estado de homeostase após a reidratação.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica do comportamento fisiológico de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas a períodos de déficit hídrico e reidratação, utilizando uma série temporal sintética para analisar um conjunto de variáveis fisiológicas foliares.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Impacto do déficit hídrico na planta**

O estabelecimento das plantas no ambiente terrestre foi alcançado graças à capacidade desses organismos de modular seu sistema biológico para responder aos estímulos do meio (SOUZA; BUCKERIDGE, 2004). As plantas obtêm recursos abióticos do ambiente como água, CO<sub>2</sub>, energia eletromagnética e nutriente e controlam seu desenvolvimento a partir da disponibilidade desses recursos. Quando alguns desses fatores são limitantes, a planta responde com alterações na atividade metabólica e, conseqüentemente, na taxa de crescimento (SOUZA; CARDOSO, 2003).

A condição de estresse é determinada por qualquer fator desfavorável no ambiente, sendo provocado pelo excesso ou falta de algum elemento essencial para o crescimento do vegetal, ou pelo ataque de insetos e microrganismos (SOUZA; CARDOSO 2003). Dentre estes, o estresse hídrico é um dos fatores ambientais mais limitantes, que afeta diretamente o desenvolvimento e a produtividade das plantas em várias regiões do mundo, principalmente em locais com frequência e períodos prolongados de déficit hídrico (EFEOGLU et al., 2009; CHAVES; OLIVEIRA, 2004; GHANNOUN, 2009).

O estresse hídrico é originado quando a disponibilidade de água no solo é inferior à demanda hídrica exigida pela planta. As altas taxas de transpiração da planta associadas a menor disponibilidade de água no solo em conjunto com a falta da reposição de água pela chuva são os motivos que levam à desidratação dos tecidos da planta ao longo do tempo (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

O primeiro impacto do déficit hídrico é em nível celular, com a perda de turgor na célula, acompanhado da redução do potencial hídrico e osmótico. A

perda de turgor celular afeta diretamente o crescimento das plantas, pela paralisação do alongamento e divisão celular (PEDRO et al., 2000).

Entretanto, as plantas respondem ao déficit hídrico, controlando a perda de água nas células, por meio do fechamento estomático e pela síntese e transporte de compostos orgânicos como prolina e proteínas solúveis para o interior das células (PEDRO et al., 2000). Tais mecanismos contribuem para limitar as perdas de água da planta para a atmosfera e reduzir o potencial osmótico para manutenção da turgescência celular.

A diminuição na taxa de transpiração proporcionada pela menor condutância estomática provoca decréscimo na taxa de fotossíntese, pela menor difusão de  $\text{CO}_2$  para os espaços intercelulares do mesófilo foliar (HU et al., 2011). Alguns autores afirmam que a queda na taxa de fotossíntese em condição de estresse hídrico moderado é proporcionada pela redução da condutância estomática (CHAVES; OLIVEIRA, 2004; SILVA et al., 2013b). Entretanto, em condição de estresse hídrico severo e prolongado, a inibição fotossintética também está correlacionada aos processos bioquímicos (EGEA et al., 2011).

A inibição fotossintética causada pelos processos bioquímicos advém dos danos estruturais na proteína D1 do fotossistema II, causados pela geração de espécies reativas de oxigênio (EROS) a partir da super-redução da cadeia de transporte de elétrons devido a menor atividade de carboxilação da Rubisco (LICHTENTHALER, 1996). Esse dano pode ser evitado através dos mecanismos internos que reduzem a formação das EROS na reação fotoquímica, através da dissipação do excesso de energia absorvido na forma de calor e pela neutralização das EROS através do sistema antioxidante enzimático e não enzimático (KHANNA-CHOPRA et al., 2007). Quando a produção das EROS supera os mecanismos de proteção e reparo, ocorrem danos no aparato fotossintético observado pelo decréscimo na eficiência fotoquímica do fotossistema II (PORCAR-CASTEL et al., 2014).

Os danos foto-oxidativos são observados visualmente nas plantas pela redução da concentração de clorofila nas folhas (EFEOGLU et al. 2009). Geralmente as cultivares de canas-de-açúcar sensíveis ao déficit hídrico apresentam decréscimo na concentração de clorofila, quando comparado às tolerantes (SILVA et al., 2011). A concentração de clorofila nas folhas poderá servir como um indicador morfológico de tolerância das plantas ao déficit hídrico, servindo como uma ferramenta para programas de melhoramento genótipo selecionarem genótipos para conhecer os mecanismos fisiológicos e moleculares que propiciam essa tolerância.

## **2.2 A planta como sistema biológico complexo**

O sistema biológico é composto por um conjunto de elementos e subsistemas diferentes interagindo espacialmente e temporalmente de forma não linear, pois tais mudanças decorridas no tempo e espaço raramente se produzem de maneira proporcional no sistema (SOUZA; BUCKERIDGE 2004).

Plantas são sistemas biológicos abertos que realizam constantes trocas de energia e matéria com o ambiente externo e modificam seu sistema a fim de manter seu estado fisiológico em equilíbrio termodinâmico (SOUZA et al., 2004). Essa dinâmica de respostas produzidas pelas plantas se desenvolve através de um sistema auto-organizado e hierarquizado, e implica vários processos que induzem alterações na complexidade de um sistema, resultando frequentemente no aumento da complexidade, desencadeado por distúrbios internos ou externos do sistema (SOUZA; BUCKERIDGE, 2004).

Isto significa que os conjuntos dos vários eventos metabólicos inerentes ao sistema vegetal, estão diretamente conectados em uma rede, sendo que sua complexidade varia em função dos conjuntos de elementos que o compõem e as diversas funções desempenhadas pelo conjunto de mecanismos. A conexão da

rede está relacionada com o número e a intensidade das interações entre os elementos do sistema, pela formação de uma rede de relações (SOUZA; BUCKERIDGE, 2004).

Entretanto, em um ambiente natural onde há constantes oscilações das condições ambientais, não é de surpreender que plantas apresentem mudanças na conexão de redes em seu metabolismo, a fim de ajustar e regular seu desenvolvimento nesta condição. Desta forma, a capacidade de modulação das redes pode desempenhar um alto nível de controle no sistema, aumentando sua capacidade de responder e minimizar os danos produzidos pelas perturbações externas. Consequentemente, as mudanças no sistema podem ser consideradas respostas de aclimação para as condições adversas do ambiente, a fim de manter o estado homeostático (SOUZA et al., 2005). Assim, a dinâmica temporal de rede de respostas pode ser observada como uma forma eficiente para manter a homeostase em relação a variações ambientais (SOUZA et al., 2004). Quanto maior a capacidade de ajuste dinâmico da planta, maior a sua tolerância a variações nas condições ambientais.

Apesar da necessidade de conhecer a dinâmica das respostas ao invés da resposta *per se*, a maior parte das pesquisas é executada com uma visão reducionista, ao descreverem o comportamento das plantas através do resultado de um ou dois processos fisiológicos em uma condição ambiental. Tais pesquisas reducionistas são necessárias para promover o conhecimento sobre o funcionamento dos elementos de uma rede, a fim de buscar, em seguida, interligar e interpretar o conjunto de respostas no sistema, porém com menor valor para entender as modulações da rede de respostas da planta (LUTTGE 2012; BERTOLLI et al., 2014) e, portanto sua tolerância e adaptação ao estresse.

Algumas pesquisas contemporâneas propõem metodologias para interpretar o comportamento sistêmico nas condições adversas do ambiente, através da análise estatística multivariada para fornecer respostas globais do

comportamento das plantas (BERTOLLI et al., 2014; BERTOLLI; SOUZA, 2013; SOUZA et al., 2005). A elaboração de estudos avaliando as interações entre características fisiológicas das plantas em função da condição ambiental são escassos. Assim, esses estudos são fundamentais para compreender melhor as associações dos parâmetros fisiológicos em resposta às condições adversas do ambiente (SILVA et al., 2013b).

### **2.3 Plasticidade fenotípica e tolerância ao déficit hídrico**

Em condições ambientais normais as plantas estão sujeitas ao estresse, causado por um ou mais fatores ambientais. Plantas que são capazes de perceber os estímulos externos do ambiente e responder de maneira eficaz apresentam maior facilidade para estabelecerem-se em diferentes ecossistemas.

A sobrevivência das plantas em condições ambientais contrastantes decorre das alterações no fenótipo proveniente da dinâmica de respostas fisiológicas, anatômicas e morfológicas produzidas em função do ambiente, sendo descritas como plasticidade fenotípica (PEDRO et al., 2000; SOUZA et al., 2009). A plasticidade fenotípica tem a função de manter a homeostase das plantas sobre condição de estresse, através do reajuste de vários processos fisiológicos e bioquímicos. Essas modificações fisiológicas se produzem em virtude da percepção, sinalização e transcrição de genes que compõem os mecanismos fisiológicos de reparo e reconstituição da planta (NICOTRA et al., 2010). Com a remoção do estresse, a planta recupera suas funções fisiológicas, apresentando um novo estado fisiológico (LICHTENTHALER, 1996).

As pesquisas com melhoramento genético de plantas têm buscado genótipos superiores que apresentem plasticidade fenotípica, sendo capaz de fazerem-nas adaptarem-se a diversos ambientes para manter sua alta produtividade (SADRAS et al., 2013; PELTONEN-SAINIO et al., 2011). Tais

estudos procuram identificar o impacto do ambiente na produtividade e no desenvolvimento das plantas, conhecendo as alterações morfofisiológicas produzidas, como mudanças no ângulo da folha, na abertura estomática e na taxa de fotossíntese (SULTAN, 2000).

A classificação das variedades de cana-de-açúcar em tolerante e suscetível ao déficit hídrico é realizada pela produtividade no campo. Algumas pesquisas com cana-de-açúcar justificam essa maior produtividade entre as variedades por meio dos valores de fotossíntese (GONÇALVES et al., 2010), uma vez que esse processo tem papel fundamental na produção de biomassa e sacarose e por ser um processo particularmente sensível ao déficit hídrico (SILVA et al., 2013a). Contudo, não se sabe se a maior tolerância dessas variedades está relacionada ao fato de serem mais plásticas.

Estudos mostram que as plantas C4 submetidas ao déficit hídrico apresentam menor plasticidade no aparato fotossintético, devido a uma menor capacidade de modular seu aparato fotossintético frente a condições de estresse (SAGE; MCKNOWN, 2005). Ripley et al. (2010) verificaram que, com a retirada do estresse hídrico, as plantas C4 apresentam menor recuperação na taxa de fotossíntese. Dessa forma, estudos com ciclos sucessivos de déficit hídrico devem ser realizados para compreender a dinâmica das alterações fisiológicas, a exposição frequente e temporal de déficit hídrico e a reidratação das plantas (GHANNOUM, 2009).

## **2.4 Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é reconhecida com uma das mais importantes culturas agrícola no mundo, destacando-se como principal cultura no fornecimento de açúcar no mercado, além da geração de biocombustíveis (etanol) e bioenergia, produzida a partir do bagaço e da palha (UNICA 2008).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo. Na última década houve um aumento de 51% na área plantada, chegando a atingir 658 milhões de toneladas produzidas em 2013 (CONAB, 2015). Esse aumento na produção é atribuído ao desenvolvimento e uso de cultivares melhorado geneticamente com aumento da tolerância a condições de estresse e melhor gestão da água e nutrientes (BASNAYAKE et al., 2012). Apesar de toda expansão na área de cultivo e do aumento de produção nos últimos anos, a produtividade da cana-de-açúcar é, de forma geral, bastante suscetível a condições de déficit hídrico. Por exemplo, observou-se a redução na produção do Sudeste brasileiro, principal região produtora nacional, em decorrência do déficit hídrico provocado pela estiagem prolongada que acometeu a região na safra de 2014-2015 (CONAB 2015).

A cana-de-açúcar, quando submetida à baixa disponibilidade hídrica, pode ter sua produtividade reduzida em até 60% (NISACHON et al., 2012), devido ao aumento na senescência dos colmos e folhas, conjuntamente com a redução na área foliar (SMIT; SINGELS, 2006), na concentração de clorofila (SILVA et al., 2012), no potencial hídrico dos tecidos (SILVA et al., 2012) e na taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2007; ZHAO et al., 2013). Estudos sobre impactos do déficit hídrico no desenvolvimento da cana-de-açúcar são essenciais para afirmar seus efeitos no desenvolvimento das variedades cultivadas na região, através do ambiente na produtividade de biomassa e a produção de açúcares no colmo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Variedades de cana-de-açúcar

O estudo foi conduzido com quatro genótipos de cana-de-açúcar do gênero *Saccharum spp.* Os quatro genótipos são amplamente cultivados na região sudeste do Brasil e apresentam bom rendimento no acúmulo de sacarose nos colmos. As variedades de cana-de-açúcar são contrastantes quanto à sua classificação de tolerância ao déficit hídrico e ciclo produtivo, conforme descrito na Tabela 1, sendo que as variedades RB 867515 e RB 835486 são tolerantes ao déficit hídrico e as variedades RB72454 e RB865453 são suscetíveis ao déficit hídrico.

As variedades escolhidas são pertencentes à RIDESA (Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro), que em seu catálogo descreve as seguintes características das variedades. A variedade RB 72454 apresenta maturação média a tardia, podendo ser cultivada em solos arenosos com baixa fertilidade, porém é sensível ao déficit hídrico; sua colheita pode ser realizada nos meses de julho e agosto, apresentando alto teor de açúcar no colmo. A variedade RB 867515 é resultado do cruzamento entre variedade RB 72454 e outra variedade desconhecida; o plantio desse genótipo deve ser em solos arenosos com média a baixa fertilidade do solo, apresenta tolerância ao déficit hídrico; possui crescimento rápido, com alta produção de açúcar no colmo. A variedade RB 855453 deve ser planta em solo com boa fertilidade, é precoce, sensível ao déficit hídrico, apresenta velocidade regular no crescimento e alta produção de sacarose no colmo. A variedade RB 835486 deve ser plantada em solos com textura média a arenosa, possui maturação média, tolerante ao déficit hídrico, com crescimento regular e alta produção de sacarose no colmo.

As plantas foram obtidas por meio de brotação das gemas provenientes de toletes coletados no banco de germoplasma da UFLA e cultivados em casa de vegetação em vasos de polipropileno preto com volume de 8 litros de solo. Antes do plantio foi realizada análise nutricional do substrato no laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência dos Solos (UFLA), sendo corrigida a fim de atender as demandas da cultura, conforme recomendações da 5ª aproximação. Antes do plantio, os toletes passaram por tratamento com fungicida Derozol® (1ml/L), sendo em seguida plantados quatro toletes por vaso. Duas semanas após o plantio foi realizado o raleio, deixando duas plantas por vaso.

Tabela 1 Informações das variedades de cana-de-açúcar classificadas de acordo com as maturidades fisiológicas (MF) e tolerância ao déficit hídrico (TDH) descrito pela RIDESA, conforme a produtividade apresentada pelas variedades.

VARIEDADES	CLASSIFICAÇÃO	
	MF	TDH
RB 72454	Média	Sensível
RB 867515	Tardia	Tolerante
RB 835486	Precoce	Tolerante
RB 855453	Precoce	Sensível

Fonte: (RIDESA, 2010)

### 3.2 Condução do experimento

O experimento foi conduzido de fevereiro a junho de 2014 em casa de vegetação do setor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Após o cultivo das plantas por 70 dias, procedeu-se a imposição dos tratamentos, que consistiu na suspensão da irrigação nos dias 0, 5, 8 (déficit

hídrico) e posterior recuperação da disponibilidade hídrica nos dias 9, 16, 37(reidratação), com a imposição novamente da segunda suspensão de rega nos tempos 46, 50, 53 (déficit) conforme a (FIGURA 1). O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, utilizando três repetições em cada tempo de avaliação para todas as variáveis fisiológicas analisadas. As avaliações foram realizadas na folha +1 do colmo principal de acordo com a classificação fenológica proposta por Dillewijn (1952).

As plantas controle foram mantidas até atingir 80-100% da capacidade de campo. As plantas submetidas ao déficit hídrico quando reidratadas, foram regadas até atingir 80-100% da capacidade de campo. As condições ambientais da casa de vegetação, como temperatura e déficit de pressão de vapor, foram monitoradas através do sensor datalogger HT 500 (Instrutherm), registrando a cada 30 minutos.

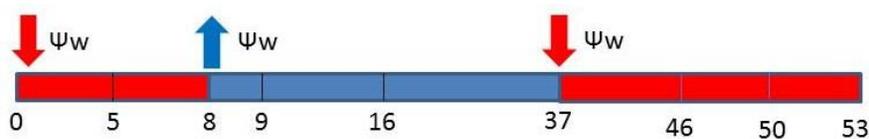


Figura 1 Representação dos períodos de avaliação e de indução de déficit hídrico e de reidratação. A seta vermelha representa a imposição do déficit hídrico com a redução do potencial hídrico da planta; a seta azul significa o período de reidratação com aumento do potencial hídrico da planta.

### 3.3 Estado hídrico das plantas

O estado hídrico das plantas foi avaliado pelo potencial hídrico e pelo teor relativo de água foliar. O potencial hídrico foliar foi medido nas folhas +1(REFERENCIA) com o auxílio de uma a câmara de pressão de Scholander (PMS Instruments- Plantmoisture- Modelo 1000), sendo o potencial hídrico

máximo obtido no período entre 4h00 e 5h00, e o potencial hídrico mínimo obtido entre 12h00e 14h00.

O teor relativo de água foi determinado através de cinco discos foliares, sendo imediatamente pesados em balança de precisão para determinação da massa fresca (MF). Em seguida o material foi colocado em uma placa de petri com água destilada por um período de 24 horas, para obtenção da massa túrgida (MT). Depois os discos foram postos para secar em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 70 °C durante dois dias, sendo pesados em seguida para obtenção da massa seca (MS). O teor relativo de água foi determinado pela equação.

$$\text{TRA (\%)} = \frac{MF-MS}{MT-MS} \times 100$$

### 3.4 Trocas gasosas

A determinação instantânea da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>(A), transpiração (E) e condutância estomática (gs) foi feita com um analisador de gases a infravermelho (IRGA) Li-6400 (Licor Inc., Nebraska, USA). As seguintes condições foram empregadas nas avaliações: saturação luminosa (1200 μmol fóton m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a 25 °C, 400 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> no período das 9h00 às 11h00. Para a determinação da respiração, as avaliações foram realizadas no período das 21h00 às 23h00, utilizando-se as mesmas folhas com o mesmo equipamento.

### 3.5 Conteúdo de carboidratos

A quantificação de carboidratos se deu através da preparação de extrato a partir da homogeneização de 200 mg de massa seca de folhas em 5 ml de

tampão fosfato de potássio, 100 mM, pH 7,0; seguido de banho-maria por 30 minutos com temperatura a 40 °C. O homogenato foi centrifugado a 5000g por 10 minutos, coletando-se o sobrenadante. O processo foi repetido duas vezes e os sobrenadantes combinados.

A determinação da concentração de sacarose na folha foi feita adicionando em um eppendoff 800 µL do extrato e 800 µL de hidróxido de potássio a 30%. Em seguida, as amostras foram colocadas em banho-maria durante 15 minutos a 37°C.

Para extração do amido, o pellet foi novamente suspenso com 8 ml do tampão acetato de potássio 200 mM, pH 4,8. Em seguida, foram adicionadas 16 unidades da enzima amiloglucosidase, incubando-se em banho-maria a 40°C. Após a centrifugação a 5000g por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado e o volume completado para 15 ml.

Para a quantificação de amido e sacarose, foi utilizado o método da Antrona (DISCHE, 1962); e para os açúcares redutores, foi utilizado o método da DNS, através do protocolo descrito por Miller (1959).

### **3.6 Análise de dados**

Em cada tempo de avaliação a mesma foi realizada pelo programa estatístico R, pela análise de componentes principais (PCA), a fim de satisfazer as seguintes necessidades: 1) identificar as variáveis fisiológicas mais importantes na definição das respostas das plantas em estudo e, 2) utilizando a componente principal um (PC1) como variável de estado fisiológico, para comparar os comportamentos das plantas ao longo do tempo. Assim, verificando-se o valor médio dos *scores* das amostras e os autovalores das variáveis na PC1, buscou-se quantificar a dinâmica de ajustes plásticos nas redes fisiológicas que podem conferir maior tolerância da cana ao déficit hídrico. Para

isso, definiu-se que tolerância é a capacidade da planta em manter seu estado estável diante de variações das condições ambientais, bem como retornar ao estado inicial depois da saída de uma condição adversa. O estado estável considerado foi o observado para as plantas controle. Dessa maneira, quanto maior a distância cartesiana entre o valor médio dos *scores* observados para as plantas em tratamento em relação aquelas do controle, maior a intensidade do estresse e menos tolerante é a planta.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições ambientais na casa de vegetação foram registradas pelo termohigrômetro durante 53 dias após a imposição dos tratamentos, apresentando como média dos valores de temperatura máxima 43,5°C, temperatura média 23,3°C, temperatura mínima 13,5°C (FIGURA 2), déficit de pressão de vapor máximo 8,33 kPa e déficit de pressão de vapor médio 1,8 kPa (FIGURA 3).

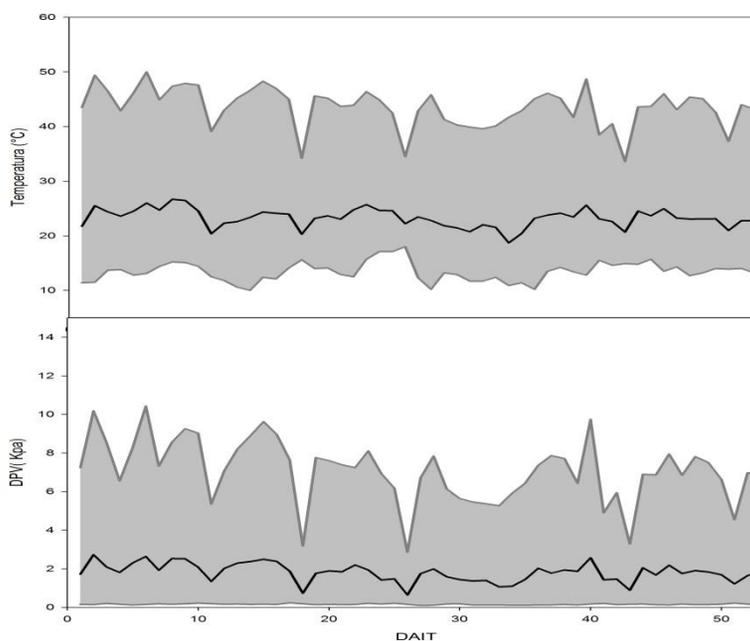


Figura 2 Valores registrados de temperatura e déficit de pressão de vapor na casa de vegetação da vegetação durante 53 dias após a imposição dos tratamentos hídricos, entre os meses de abril a junho de 2014. Nota: A linha preta se refere ao valor médio da temperatura e do déficit de pressão de vapor. Já a região cinza, compreende os valores mínimos e máximos de temperatura e déficit de pressão de vapor, respectivamente.

As alterações de estado fisiológico da distribuição dos *scores* médios ao longo das variedades estudadas no tempo foram bem representadas através da componente principal um (PC1), que explicou no mínimo 40% a variação das respostas nos tempos de avaliação.

O estado homeostático das plantas sob déficit hídrico e controle foi diferente, nas quatro variedades, a partir da indução do déficit hídrico pela suspensão da irrigação (Figura 3). Isso indica que na primeira avaliação, no tempo zero, as plantas se encontravam na mesma condição ambiental e apresentavam estado fisiológico semelhante. Com a imposição do primeiro déficit hídrico, as plantas sob tratamento sofreram mudança de estado fisiológico do controle.

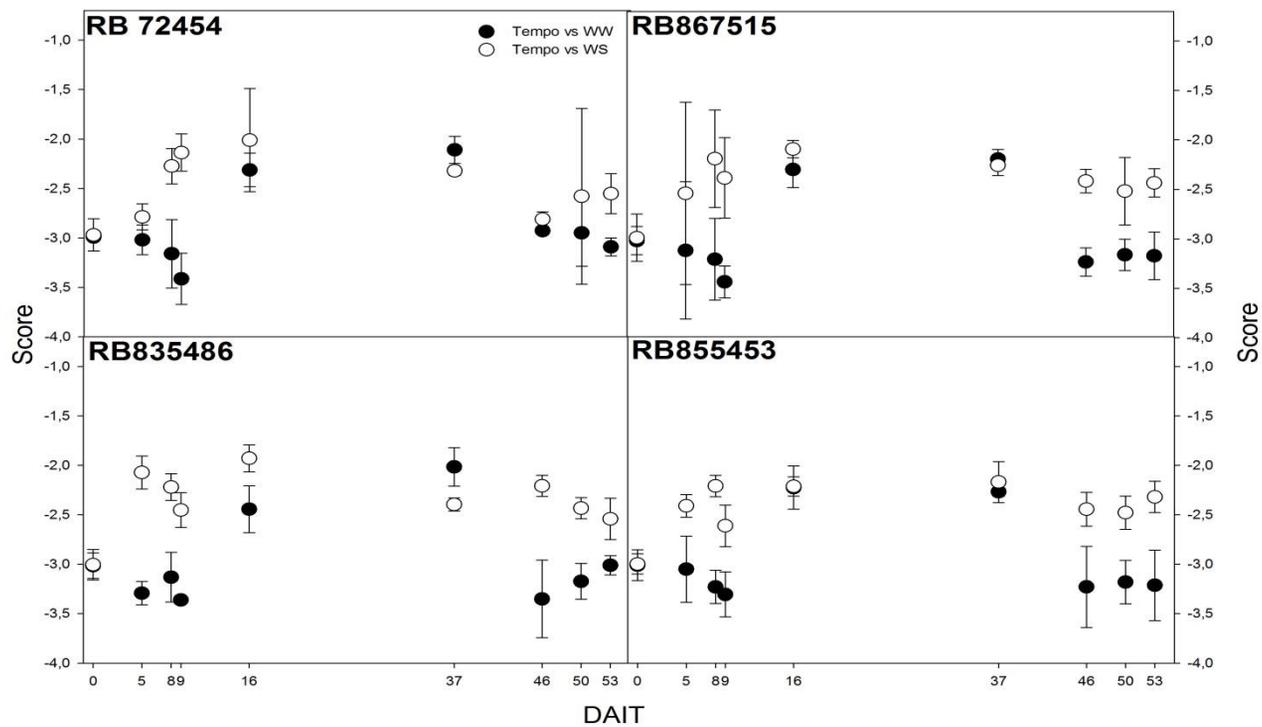


Figura 3 Análise de componentes principais (PC1) de cada variedade de cana-de-açúcar, mostrando a dinâmica temporal do estado fisiológico apresentado pelos valores médios (símbolos) dos *scores* no tempo. As barras de erro representam o desvio padrão (n=3)

No primeiro tempo de avaliação (5 DAIT) para as variedades RB 835486 e RB855453, que têm ciclo precoce, as plantas que estavam sob déficit hídrico apresentaram diferenças significativas em seu estado fisiológico em relação às plantas controle. Para as plantas das variedades RB72434 e RB 867515, apesar do distanciamento entre os valores médios dos *scores* da CP1, não houve diferença nos estados fisiológicos das plantas controle comparadas às sob déficit hídrico. Contudo, com o incremento da intensidade do déficit hídrico, houve clara diferença nos estados fisiológicos das plantas controle as sob déficit hídrico, para as quatro variedades estudadas (8 DAIT). As variáveis que exerceram maior influência nas alterações dos estados fisiológicos foram, de forma geral, as taxas de fotossíntese, de concentrações de açúcares redutores, amido, sacarose e clorofila (TABELAS 2, 3,4 e 5).

A mudança do estado fisiológico das variedades sob condição de déficit hídrico está envolvida diretamente com o decréscimo da condutância estomática (TABELA 7, Apêndice) e da taxa de fotossíntese (TABELA 9, Apêndice) provocadas pela diminuição do potencial hídrico e do teor relativo de água (TABELAS 16 e 17 Apêndices). Resultados semelhantes foram observados em outros estudos, que verificaram que a condutância estomática foi o principal fator que causou diminuição na taxa de fotossíntese na cana-de-açúcar após os primeiros dias de restrição hídrica (GRAÇA et al., 2010; SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2013a; ZHAO et al., 2013). Neste trabalho, observou-se que as variedades RB 72454 e RB 867515 foram mais tolerantes que as variedades RB 835486 e RB 855453, por apresentarem menor decréscimo na condutância estomática (gs) e na taxa de fotossíntese. Em outros estudos com cana-de-açúcar, as variedades mais tolerantes ao déficit hídrico exibiram maior valor de fotossíntese em função do alto valor de gs (GONÇALVES et al., 2010; MACHADO et al., 2009).

A menor taxa de fotossíntese das variedades submetidas ao déficit hídrico resultou numa menor concentração de trioses, hexoses, sacarose e amido (TABELAS 10, 11, 12 Apêndice) em relação ao controle. Essa diferença pode ser resultante da inibição das enzimas que catabolizam a síntese de açúcar redutor e de reservas, como: ribulose 1, 5, bifosfatocarboxilase oxigenase, enzima málica, frutose 1, 6, bisfosfatase e piruvato ortofosfato diquinase, que reduzem sua atividade em condição de déficit hídrico (DU et al., 1996). A maior concentração de sacarose e amido no controle foi proporcionada pela superior atividade fotossintética, resultando na maior formação de trioses fosfato para servir como precursor na síntese de sacarose, amido e hexoses (DU et al., 2000).

As variedades com oito dias submetidas ao déficit hídrico apresentaram maior diferença na posição dos *scores* em relação ao controle (FIGURA 2 e TABELA 6). Essa diferença ocorreu pelo aumento na intensidade do déficit hídrico, podendo ser verificado nos valores dos potenciais hídrico mínimo e máximo das plantas (TABELAS 16, 17 Apêndice). As variáveis fisiológicas que coordenaram as alterações fisiológicas neste tempo foram: condutância estomática, concentrações de açúcar redutor, sacarose, amido e clorofila (TABELAS 2, 3, 4, 5).

O aumento do déficit hídrico implicou reduções significativas das concentrações de clorofila nas variedades sob déficit hídrico. O decréscimo da concentração de clorofila foi observado somente oito dias após a imposição do déficit hídrico, havendo maior redução na variedade A, com 32% comparado ao controle. A variedade RB 867515 foi a que apresentou menor degradação de clorofila, demonstrando ser uma variedade tolerante ao déficit hídrico em comparação ao resultado das demais variedades. Silva et al. (2011) descreveram que variedades de cana-de-açúcar tolerantes apresentaram menor degradação da clorofila nas folhas sob déficit hídrico.

A degradação da clorofila decorre da menor taxa fotossintética. Os valores de fotossíntese das variedades com oito dias de déficit hídrico variaram entre 0 e  $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Esse resultado corrobora com outros trabalhos que avaliaram redução na atividade fotossintética e a concentração de clorofila sob condição de déficit hídrico (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2011). O decréscimo da taxa de fotossíntese pode desencadear a super-redução da cadeia de transporte de elétrons, pela menor consumo de poder redutor e ATP para fixação do  $\text{CO}_2$ , implicando na formação das EROS que danificam o aparato fotossintético, resultando no decréscimo da concentração de clorofila nas folhas (KHANA-CHOPRA et al., 2007).

Com oito dias na condição de déficit hídrico, as plantas sob suspensão da irrigação foram reidratadas. Um dia após a reidratação (9 DAIT,) as plantas não alteraram seu estado fisiológico, por haver diferença de valores médios dos *scores* entre os tratamentos controle e sob déficit hídrico (FIGURA 2, TABELA 6). Entretanto, nas avaliações subsequentes aos 16 e 37 DAIT, houve uma recuperação do estado fisiológico das plantas submetidas ao déficit hídrico nas variedades RB 72454, RB 867515 e RB 855453, indicando que as plantas dessas variedades atingiram estado homeostático semelhantes ao que tinham antes da imposição do déficit hídrico. A exceção ocorreu para a variedade C, que teve diferença entre os tratamentos controle e sob déficit hídrico durante todo o período de reidratação, indicando que as plantas dessa variedade podem ter assumido um novo estado homeostático, diferente daquele anterior à imposição do déficit hídrico.

Tabela 2 Análise de Componentes Principais (PCA), contendo os valores de autovetores da variedade RB 72454(A) avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.

RB 72454								
TEMPO	Amido	Sacarose	Frutose	Potencial Hídrico Mínimo	Clorofila	Fotossíntese	Condutância estomática	Transpiração
0	8,63	9,2	9,36	9,26	9,35	9,36	9,22	9,31
5	9,8	8,73	8,64	9,02	9,74	9,75	9,65	9,67
8	10,37	9,88	10,85	6,84	10,87	8,9	9,61	8,68
9	7,45	9,93	9,84	9,58	10,18	8,25	8,44	8,57
16	-	-	-	-	16,85	16,96	16,56	16,35
37	-	-	-	-	16,91	16,75	16,8	16,05
46	6,36	9,07	9,5	9,91	10,1	9,74	10	9,52
50	10,2	8,27	8,84	9,95	10	9,41	9,4	9,19
53	9,84	8,76	9,7	9,66	10,28	8,84	8,5	8,62

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas análises.

Tabela 3 Análise de Componentes Principais (PCA), contendo os valores de autovetores da variedade RB 867515 avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.

RB 867515								
TEMPO	Amido	Sacarose	Frutose	Potencial Hídrico Mínimo	Clorofila	Fotossíntese	Condutância estomática	Transpiração
0	17,19	2,72	2,24	3,71	3,93	4,07	17,37	16,72
5	1,56	6,93	11,9	12	0,52	12,17	12,1	11,62
8	11,47	11,2	2,49	11,46	10,67	11,63	11,53	11,7
9	6,38	12,27	9,46	1,88	12,57	14,38	14,11	13,59
16	-	-	-	-	17,14	16,9	17,12	16,94
37	-	-	-	-	16,72	16,65	16,5	16,68
46	9,28	9,11	9,08	9,37	10,01	10,08	8,9	9,8
50	8,25	9,6	9,9	9,96	10,06	9,35	9,13	9,65
53	6,57	9,52	10,33	9,99	10,34	8,44	8,3	9,1

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas análises.

Tabela 4 Análise de Componentes Principais (PCA), contendo os valores de autovetores da variedade RB 835486 avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico

<b>RB 835486</b>								
<b>TEMPO</b>	<b>Amido</b>	<b>Sacarose</b>	<b>Frutose</b>	<b>Potencial Hídrico Mínimo</b>	<b>Clorofila</b>	<b>Fotossíntese</b>	<b>Condutância estomática</b>	<b>Transpiração</b>
0	9,16	9,08	9,09	9,12	9,09	9,15	9,01	9,11
5	10,78	10,11	10,55	6,86	10,61	7,83	8,84	8,96
8	11,08	8,22	9,88	8,06	11,08	8,31	8,13	8,84
9	9,11	8,7	8,52	9,54	9,58	9,51	9,46	9,54
16	0	-	-	-	-	16,85	16,1	16,96
37	0	-	-	-	-	16,85	16,69	16,54
46	9,2	9,25	9,67	9,14	9,61	9,51	8,66	9,57
50	8,93	10,25	9,04	8,85	10,38	9,5	8,31	9,73
53	9,2	9,85	8,72	9,61	10,43	8,62	8,51	9,04

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas análises.

Tabela 5 Análise de Componentes Principais (PCA), contendo os valores de autovetores da variedade RB 855453 avaliada no tempo, em função dos tratamentos controle e déficit hídrico.

RB 855453								
TEMPO	Amido	Sacarose	Frutose	Potencial Hídrico Mínimo	Clorofila	Fotossíntese	Condutância estomática	Transpiração
0	9,12	9,15	8,9	8,91	9,21	9,22	9	9,14
5	<b>10,77</b>	<b>9,56</b>	<b>10,95</b>	8,38	<b>10,77</b>	8,6	8,18	8,76
8	10,77	10,4	9,88	7,83	10,84	7,66	8,31	8,4
9	8,78	9,29	8,88	9,29	9,25	9,29	9,2	9,26
16	-	-	-	-	-	16,77	16,51	16,68
37	-	-	-	-	-	16,76	16,42	16,69
46	9,4	9,1	9,48	8,92	9,72	9,82	8,43	9,13
50	9,47	9,72	9,8	9,31	9,91	9,02	8,38	8,77
53	9,25	9,67	9,28	9,73	10,19	8,73	8,31	8,48

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas análises.

As variáveis relacionadas à fotossíntese foram as mais proeminentes nas alterações de estado fisiológico verificadas com a reidratação (TABELAS 2, 3, 4,5). No primeiro dia após a reidratação, as variedades não retornaram ao seu estado homeostático original, devido à menor velocidade de recuperação da taxa de fotossíntese (TABELAS 9 - Apêndice). O maior tempo de recuperação das variedades após a remoção do déficit hídrico significa menor capacidade da variedade em retornar seu estado de homeostase original, ou menor resiliência (SOUZA et al., 2004). Graça et al. (2010) observaram o mesmo comportamento na cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico, ao constatarem que um dia após a reidratação as variedades apresentaram pouco incremento na taxa fotossintética. A menor velocidade de recuperação da fotossíntese na cana-de-açúcar após a reidratação pode ser causada pela limitação metabólica presente em plantas C4 (RIPLEY et al., 2010). O metabolismo fotossintético C4, apresenta uma menor plasticidade quando comparado ao metabolismo fotossintético C3, devido a suas estruturas morfológica e bioquímica especializada (SAGE; MCKNOWN, 2005).

Tabela 6 Distância dos *scores* médio no tempo das variedades de cana-de-açúcar: RB72454(A), RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos: controle (R) e déficit hídrico (SR).

<b>DISTÂNCIA (R-SR)</b>				
<b>Tempo</b>	<b>RB 72454</b>	<b>RB 867515</b>	<b>RB 835486</b>	<b>RB 855453</b>
0	-0,0221	-0,0297	-0,0104	-0,0126
5	-0,2319	-0,5765	-1,2211	-0,6403
8	-0,8863	-1,0168	-0,9123	-1,0206
9	-1,2766	-1,0507	-0,9099	-0,6947
16	0	0	-0,5147	0
37	0	0	0,3795	0
46	0	-0,8181	-1,1436	-0,7856
50	0	-0,6439	-0,7405	-0,7025
53	-0,5382	-0,7376	-0,4702	-0,8934

Contudo, com 16 dias de reidratação, os valores de fotossíntese das variedades A, B e D foram iguais ou superiores ao valor do controle. Ripley et al., (2010) encontraram o mesmo resultado em duas espécies de gramíneas C4 reidratadas após um período prolongado de déficit hídrico. Tais espécies necessitaram de um longo período de reidratação para retornarem a sua atividade fotossintética máxima. Com a retirada do déficit hídrico, as plantas recuperam sua atividade fotossintética máxima entre 40 e 60%, necessitando de um período da reidratação maior para incrementar a fotossíntese, sendo que, algumas vezes, as plantas não conseguem recuperar sua atividade fotossintética máxima (FLEXAS et al.2006).

No segundo ciclo de déficit hídrico verificou-se, novamente, um distanciamento dos valores médios dos *scores* da CP1 (TABELA 6) entre os tratamentos controle e déficit hídrico nos três tempos de avaliação (46 50 e 53); porém com uma distância menor em relação ao primeiro ciclo de déficit hídrico. Praticamente em todos os tempos das avaliações, o segundo ciclo de déficit hídrico, apresentou os mesmos mecanismos que controlaram as alterações de rede de respostas fisiológicas, que são: taxa de fotossíntese, potencial hídrico mínimo e as concentrações de açúcar redutor, sacarose, amido e clorofila (TABELAS 2, 3, 4,5).

No segundo ciclo de déficit hídrico, as variedades exibiram um menor decréscimo nos valores de potencial hídrico mínimo e na taxa de fotossíntese; e não foram verificadas diferenças nas concentrações de açúcares nas folhas e clorofila em relação ao controle. Houve um “feedback negativo” nas concentrações de açúcares e clorofila, que contribuíram para manutenção do estado de homeostase das plantas (SOUZA; BUCKERIDGE, 2004). Esse resultado está provavelmente relacionado à aclimação fotossintética das variedades de cana-de-açúcar estudadas a condição de déficit hídrico, porque não foram observadas variações nas condições ambientais da casa de vegetação

que pudessem alterar o comportamento da atividade fotossintética entre o primeiro e segundo ciclos de déficit hídrico (FIGURA 1 e 2).

Na comparação do comportamento das variedades de cana-de-açúcar, a variedade A foi a que apresentou maior tolerância, pois houve alteração do seu estado homeostático original apenas 15 dias após a imposição do segundo ciclo de déficit hídrico. Já as variedades RB 867515 RB835486 e RB855453 apresentaram alteração aos quatro dias após a segunda imposição do déficit hídrico. De forma geral, pode-se indicar que a variedade RB 72454 é mais plástica que a RB 867515, demonstrando ser menos sensível à recorrência de déficit hídrico. Silva et al. (2012) em contraste, verificaram que ao cultivarem RB 867515, obtiveram maior tolerância que a variedade RB 72454, na imposição de apenas um ciclo de déficit hídrico.

Vale destacar também as diferenças de estratégias em contraposição ao déficit hídrico exibido pelas variedades estudadas, mais evidentes no segundo ciclo de suspensão da irrigação. A variedade RB 72454 tende a manter seu estado homeostático original. As variedades RB 867515 e RB 855453 alteram rapidamente seu estado homeostático originais para um novo, e tendem a mantê-lo durante a condição adversa. A variedade RB 835486 parece mudar seu estado homeostático constantemente para manter o estado homeostático que possuía antes da condição de déficit.

Desta forma a variedade RB 72454 apresentou maior estabilidade frente à ocorrência de déficit hídrico, por uma menor variação do seu estado homeostático. A estabilidade de um sistema biológico ocorre pela dinâmica de um sistema biológico em manter seu estado em equilíbrio (REIMANN, 1996). Nas condições climáticas do sudeste brasileiro, que apresentam períodos curtos de veranicos seguidos de reidratação através das chuvas, a variedade A poderá apresentar maior vantagem em relação às demais variedades. Isso, por esta variedade manter seu sistema estável por um período maior de tempo.

Entretanto, em condições de estresse hídrico severo, a variedade RB 867515 exibe melhor desempenho, por apresentar resistência no primeiro ciclo de incidência do déficit hídrico e por estar aclimatada no segundo ciclo de estresse por haver mantido sua homeostase.

A aclimação alcançada pelas variedades sob estresse hídrico compreende nas alterações no estado fisiológico da planta, que conduz a compensação homeostática em função dos efeitos negativos do estresse hídrico (FLEXAS et al., 2006). A melhor resposta fotossintética das variedades ao segundo ciclo de déficit hídrico pode haver ocorrido pela “memória” adquirida pela planta após a exposição do primeiro ciclo de déficit hídrico (THELLIER; LUTTGE 2013). Esse resultado não foi observado no trabalho de Graça et al. (2010), talvez devido ao menor tempo de recuperação das plantas, para a segunda imposição do déficit hídrico.

As pesquisas sobre as respostas das plantas ao estresse têm buscado algum indicador fisiológico que possa detectar o estado fisiológico das plantas em função do estresse ambiental (BERTOLLI et al., 2014, SILVA et al., 2012; SOUZA et al., 2009). A determinação de parâmetros fisiológicos a partir de modelos individuais, não permite inferir o comportamento de todo sistema (BERTOLLI et al., 2014). Entretanto, neste estudo avaliou-se um conjunto de variáveis, cujos dados foram agrupados e analisados pela PCA, com o intuito de identificar parâmetros fisiológicos que proporcionem as mudanças no estado homeostático da planta. Observou-se que os parâmetros fotossintéticos foram determinantes para coordenar as alterações do estado fisiológico da planta frente a uma condição de déficit hídrico. Nesse caso, os parâmetros fotossintéticos seriam *top-down* (de cima para baixo), coordenando o conjunto de subsistemas envolvidos nas alterações do estado fisiológico da planta.



## 5 CONCLUSÃO

- a) Este trabalho possibilitou conhecer que a variação da homeostase das variedades de cana-de-açúcar foi determinada pelos parâmetros fotossintéticos e pela concentração de açúcares nas folhas.
- b) A taxa fotossintética pode ser um indicador fisiológico para analisar a tolerância ou susceptibilidade das variedades ao déficit hídrico
- c) A análise de componentes principais demonstrou ser apropriada para ser utilizada como ferramenta de avaliação em pesquisas relacionada ao impacto do estresse durante o ciclo de desenvolvimento da planta.

## REFERÊNCIAS

BASNAYAKE, J et al. Sugarcane for water-limited environments. Genetic variation in cane yield and sugar content in response to water stress. **Experimental of Botany**, London, v. 63, n. 16, p. 6023-6033, May. 2012.

BERTOLLI, S. C.; MAZZAFERA, P.; SOUZA, G. M. Why is it so difficult to identify a single indicator of water stress in plants? A proposal for a multivariate analysis to assess emergent properties. **Plant Biology**, London, n.3, v. 16, p. 578-585, May. 2014.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, G. M. The level of environmental noise affects the physiological performance of glycine max under water deficit. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Campos dos Boytacazes, v.25, n. 1, p. 36-45, Apr.2013.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanism underlying plant resilience to water deficits: prospects for water saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 55, n.407, p. 2365-2384, Oct. 2004.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivo e fertilizante em Minas Gerais: 5º aproximação**. Lavras, 1999. 322 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim de Monitoramento Agrícola. **Cultivo de verão safra**. 2014. Disponível em: <[www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_08\\_28\\_08\\_52\\_35\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_2o\\_lev\\_-\\_2014-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_08_28_08_52_35_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_2014-15.pdf)> acessado em junho 2015.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham; ChronicaBotanica, 1952.371 p.

DISCHE, Z. General color reactions. **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic, p. 477-520, 1962

DU, Y.C.; KAYAMITSU, Y.; NOSE, A. Diurnal changes in photosynthesis in sugarcane leaves. **Plant production science**, Tokyo, v.3, n.1, p. 9-16, Jan. 2000.

DU, Y.C.; KAYAMITSU, Y.; NOSE, A. Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane (*Sachharum* sp.), **Australian journal of plant physiology**, Harima Science Park, v. 23, n.6, p. 719-726, Nov. 1996.

EFEUGLU, B.; EKMEKÇI, Y.; CIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, Pietermaritzburg, v. 75, n. 1, p. 34-42, Jan. 2009.

EGEA, G.; VERHOEF, A.; VIDALE, P. L. Towards an improved and more flexible representation of water stress in coupled photosynthesis stomatal conductance models. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 151, n. 1, p. 1370-1384, Jul. 2011.

FLEXAS, J. et al. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: response of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 127, n.3, p.343-352, Jul. 2006.

GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, London, v.103, n.4, p. 635-644, Feb. 2009.

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

GRAÇA, J. P. et al. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Society of Plant Physiological**, Campos Goytacazes, v. 22, n. 3, p. 189-197, Jul-Set. 2010.

HU, L.; WANG, Z.; HUANG, B. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C3 perennial grass species. **Physiological Plantarum**, Hoboken. 1, v. 139, p.93-106, May. 2010.

KHANNA-CHOPRA, R.; SELOTE, D. S. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. **Environmental and Experimental Botany**, London, v.60, n. 2, p. 276-283, June. 2007.

LICHTENTHALER, H. K. Vegetation stress: an introduction to the stress concepts in plants. **Journal plant physiology**, v. 148, n.1, p. 4-14, July. 1996.

LUTTGE, U. Modularity and emergence: biology's challenge in understanding life. **Plant Biology**, Palo Alto, v. 14, n. 6, p. 865-871, Nov. 2012.

MACHADO, R. et al. Respostas Biométricas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, Dez. 2009.

MILLER, G. L. Use of nitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, Mar. 1959.

NICOTRA, A. B et al. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends in plant science**, Ames, v. 15, n. 12, Dec. 2010.

NISACHON, J. et al. Effects of drought and recovery from drought stress on above ground and root growth and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Australian Journal of Crop Science**, local, v. 6, n. 8, p. 1298-1304, Aug. 2012.

PEDROL, N.; RAMOS, P.; REIGOSA, M. J. Phenotypic plasticity and acclimation to water deficits in velvet-grass: a long-term greenhouse experiment. Changes in leaf morphology, photosynthesis and stress-induced metabolites. **Journal of plant physiology**, local, v. 157, n. 3, p. 383-393, Oct. 2000.

PELTONEN-SAINIO, P.; JAUHAINEN, L.; SADRAS, V. O. Phenotypic plasticity of yield and agronomic traits in cereals and rapeseed at high latitudes. **Field Crops Research**, Bonn, v. 124, n. 2, p. 261-269, Nov. 2011.

PORCAR-CASTEL, A. et al. Linking chlorophyll a fluorescence to photosynthesis for remote sensing applications: mechanism and challenges. **Journal of experimental of botany**, London, v. 65, n. 15, p. 4065-4095, Mar. 2014.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>> Acessado em: junho de 2015.

REIMANN, S. Homeostasis and stability. **Center for Interdisciplinary Studies on Structure Formation University of Bielefeld**, v.31, Germany, 1996. Disponível em :<<http://www.physik.uni-bielefeld.de/bibos/old-bibos-site/bibos97-773.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2015.

RIDESA. REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar / rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro. Curitiba, p. 137. 2010.

RIPLEY, B.; FROLE, K.; GILBERT, M. Differences in drought sensitivities and photosynthetic limitations between co-occurring C3 and C4 (NADP-ME) Panicoid grasses. **Annals of Botany**, London, n.3, v. 105, p. 493-503, Mar. 2010.

SADRAS, V. O.; REBETZKE, G. J.; EDMEADES, G. O. The phenotype and the components of phenotypic variance of crop traits. **Field crops research**, Noon, v. 154, n. 1, p. 255-259, Dec. 2013.

SAGE, R. F.; MCKNOWN, A. D. Is C4 photosynthesis less phenotypically plastic than C3 photosynthesis? **Journal of experimental botany**, London, v. 57, n. 2, p. 303-317, Dec. 2005.

SILVA et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian journal plant physiology**, Campos dos Boytacazes, v. 19, n. 3, p.193-201, July-Sep. 2007.

SILVA, M. A. et al. Photosynthetic capacity and water use efficiency in Sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives Biotechnology**, Curitiba, v. 56, n. 5, p. 735-748, Jul-Sept. 2013a.

SILVA, M. A. et al. Respostas Fisiológicas de cultivares de canas-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 3, p. 28-35, Jul-Sep. 2013b.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters in screening drought tolerance in sugarcane genotypes. **Sugar tech**, New Dehli, v. 13, n. 3, p. 191-197, Jul-Sep. 2011.

SILVA, P. P. et al. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial crops and products**, Martin d'Herès, v.37, n.1, p.11-19, May. 2012.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field crops research**, Bonn, v. 91, n.2 p. 91-97, Oct. 2006.

SOUZA, G. M. et al. Network connectance and autonomy analyses of the photosynthetic apparatus in tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 47-59, Jan-Mar. 2005.

SOUZA, G. M. et al. Using network connectance and autonomy analyses to uncover patterns of photosynthetic responses in tropical woody species. **Ecological complexity**, Leicester, v. 6, n.1, p. 15-26, Nov.2009.

SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 407-419, Jul-Set. 2004.

SOUZA, G. M.; CARDOZO, V. J. M. Toward a hierarchical concept of plant stress. **Israel journal plant sciences**, Jerusalem, v.51, n. p. 29-37, Jul. 2003.

SOUZA, G. M.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C. Temporal Dynamics of Stomatal Conductance of Plants under Water Deficit: Can Homeostasis be improved by More Complex Dynamics? **Brazilian archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 423-431, Jul. 2004.

SULTAN, S. E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends in plant science**, Ames, v. 5, n. 12, p. 537-542, Dec. 2000.

THELLIER, M.; LUTTGE, U. Plant memory: a tentative model. **Plant biology**, London, v. 15, n. 1, p. 1-12, jan. 2013.

ÚNICA.UNIAO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. A indústria da cana-de-açúcar: etanol, bioeletricidade e açúcar. 2008. 34 p.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane leaf photosynthesis and growth characters during development. **Cropscience**, Madison, v. 53, n.1, p.1066-1075, May-Jun. 2013.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 7- Valores de condutância estomática e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar: RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,02
5	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,19 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,17 ± 0,03	0,03 ± 0,00
8	0,18 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,15 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,17 ± 0,04	0,02 ± 0,00	0,17 ± 0,02	0,02 ± 0,01
9	0,19 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,26 ± 0,04	0,09 ± 0,03	0,19 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,17 ± 0,03	0,14 ± 0,01
16	0,14 ± 0,01	0,13 ± 0,05	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,01
37	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,21 ± 0,00	0,15 ± 0,03
46	0,17 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,16 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,20 ± 0,03	0,05 ± 0,00
50	0,14 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,17 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,16 ± 0,03	0,04 ± 0,00	0,14 ± 0,00	0,03 ± 0,01
53	0,13 ± 0,03	0,02 ± 0,00	0,10 ± 0,02	0,04 ± 0,00	0,11 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,02 ± 0,00

Tabela 8- Valores de teor relativo de água (TRA) e desvio padrão das variedades RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

TEOR RELATIVO DE ÁGUA (TRA %)								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	78 ± 2	0,78 ± 2	86 ± 1	86 ± 1	86 ± 1	62 ± 2	87 ± 1	65 ± 2
5	85 ± 9	0,57 ± 8	90 ± 1	64 ± 5	83 ± 4	62 ± 1	81 ± 3	78 ± 25
8	81 ± 2	0,80 ± 1	81 ± 1	81 ± 1	90 ± 1	86 ± 2	85 ± 2	88 ± 1
9	85 ± 1	0,80 ± 2	83 ± 2	80 ± 2	77 ± 2	76 ± 5	79 ± 2	82 ± 2
16	92 ± 0	0,85 ± 3	88 ± 1	89 ± 2	88 ± 1	86 ± 3	91 ± 2	89 ± 0
37	85 ± 1	0,80 ± 3	83 ± 2	80 ± 1	79 ± 1	77 ± 5	77 ± 1	85 ± 2
46	92 ± 1	0,86 ± 3	86 ± 1	89 ± 2	90 ± 3	81 ± 3	94 ± 3	89 ± 0
50	79 ± 5	0,74 ± 4	83 ± 6	81 ± 1	84 ± 2	76 ± 5	85 ± 4	82 ± 6
53	79 ± 5	0,77 ± 1	82 ± 4	75 ± 8	76 ± 1	81 ± 3	86 ± 1	71 ± 11

Tabela 9- Valores de taxa de fotossíntese e desvio padrão das quatro variedades de cana-de-açúcar e desvio padrão das variedades RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

FOTOSSÍNTESE ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	21,63 ± 1,29	21,63 ± 1,29	22,38 ± 0,57	22,38 ± 0,57	21,56 ± 1,40	22,05 ± 0,34	17,17 ± 0,43	16,24 ± 0,51
5	17,12 ± 2,12	17,25 ± 0,58	23,69 ± 1,09	15,11 ± 1,44	21,50 ± 2,64	2,14 ± 0,83	22,31 ± 1,38	4,24 ± 0,21
8	31,00 ± 1,63	2,64 ± 1,15	29,48 ± 1,52	4,75 ± 2,89	26,87 ± 2,63	0,00 ± 0,00	31,06 ± 1,36	0,91 ± 0,40
9	27,80 ± 2,11	5,69 ± 6,12	30,98 ± 1,52	12,34 ± 3,19	28,19 ± 5,83	16,66 ± 0,09	25,16 ± 1,95	18,07 ± 0,58
16	21,69 ± 0,81	14,50 ± 3,55	16,74 ± 1,48	19,42 ± 0,19	20,55 ± 1,54	12,80 ± 0,12	18,21 ± 0,22	19,87 ± 0,25
37	22,65 ± 1,11	21,15 ± 1,32	18,64 ± 1,41	22,24 ± 1,38	17,17 ± 1,32	23,78 ± 0,30	20,09 ± 0,38	21,47 ± 2,00
46	16,62 ± 0,76	24,93 ± 6,31	18,22 ± 1,23	12,55 ± 4,69	19,00 ± 6,05	6,51 ± 1,58	16,72 ± 0,27	9,17 ± 0,76
50	16,62 ± 1,82	4,51 ± 0,41	21,02 ± 1,70	8,87 ± 3,50	19,00 ± 0,63	7,15 ± 0,34	20,64 ± 0,05	6,99 ± 0,85
53	15,60 ± 1,65	4,94 ± 0,67	17,01 ± 0,50	6,52 ± 1,41	19,64 ± 7,10	5,15 ± 2,10	14,87 ± 0,41	3,06 ± 0,34

Tabela 10- Valores da concentração de amido e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

AMIDO( $\mu\text{mol/g}$ )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	17,95 $\pm$ 0,56	17,95 $\pm$ 0,56	17,95 $\pm$ 0,56	17,95 $\pm$ 0,56	22,83 $\pm$ 0,48	22,83 $\pm$ 0,48	29,56 $\pm$ 2,93	29,56 $\pm$ 2,93
5	25,83 $\pm$ 1,36	23,84 $\pm$ 1,55	25,83 $\pm$ 1,36	23,84 $\pm$ 1,55	32,21 $\pm$ 0,13	26,26 $\pm$ 2,47	31,94 $\pm$ 1,21	30,13 $\pm$ 2,15
8	78,11 $\pm$ 4,69	43,75 $\pm$ 1,34	78,11 $\pm$ 4,69	43,75 $\pm$ 1,34	59,66 $\pm$ 2,84	40,94 $\pm$ 2,62	42,06 $\pm$ 0,65	31,75 $\pm$ 2,75
9	54,30 $\pm$ 7,63	41,21 $\pm$ 1,77	54,30 $\pm$ 7,63	41,21 $\pm$ 1,77	59,29 $\pm$ 8,63	50,66 $\pm$ 9,87	65,08 $\pm$ 10,18	42,69 $\pm$ 3,61
16	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-
46	34,03 $\pm$ 1,58	12,80 $\pm$ 2,77	34,03 $\pm$ 1,58	12,80 $\pm$ 2,77	38,74 $\pm$ 8,75	14,18 $\pm$ 2,17	5,39 $\pm$ 1,41	3,88 $\pm$ 0,92
50	8,41 $\pm$ 1,17	9,34 $\pm$ 4,22	8,41 $\pm$ 1,17	9,34 $\pm$ 4,22	19,56 $\pm$ 4,60	8,28 $\pm$ 2,01	12,26 $\pm$ 3,03	8,24 $\pm$ 1,26
53	5,28 $\pm$ 2,27	4,83 $\pm$ 3,19	5,28 $\pm$ 2,27	4,83 $\pm$ 3,19	6,61 $\pm$ 1,71	3,30 $\pm$ 0,05	9,10 $\pm$ 0,81	2,78 $\pm$ 0,86

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas as análises.

Tabela 11- Valores de concentração de açúcar redutor e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar: RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

AÇÚCAR REDUTOR ( $\mu\text{mol/g}$ )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	0,67 $\pm$ 0,02	0,67 $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,05	0,44 $\pm$ 0,05	0,49 $\pm$ 0,04	0,49 $\pm$ 0,04	0,48 $\pm$ 0,06	0,48 $\pm$ 0,06
5	0,40 $\pm$ 0,02	0,17 $\pm$ 0,01	0,38 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,04	0,46 $\pm$ 0,06	0,21 $\pm$ 0,02	0,20 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,00
8	0,19 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,00	0,13 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,00	0,19 $\pm$ 0,00	0,13 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,00
9	0,37 $\pm$ 0,04	0,23 $\pm$ 0,04	0,24 $\pm$ 0,01	0,21 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,00	0,25 $\pm$ 0,03	0,13 $\pm$ 0,01
16	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-
46	0,23 $\pm$ 0,04	0,28 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,05	0,13 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,01	0,45 $\pm$ 0,01	0,21 $\pm$ 0,02
50	0,43 $\pm$ 0,04	0,20 $\pm$ 0,04	0,11 $\pm$ 0,01	0,08 $\pm$ 0,01	0,13 $\pm$ 0,04	0,09 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,00	0,13 $\pm$ 0,00
53	0,30 $\pm$ 0,06	0,21 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,00	0,09 $\pm$ 0,00	0,09 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,02	0,14 $\pm$ 0,01

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas as análises.

Tabela 12- Valores de concentração de sacarose e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar: RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle(R) e déficit hídrico (SR).

SACAROSE ( $\mu\text{mol/g}$ )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	24,88 $\pm$ 2,73	24,88 $\pm$ 2,7	12,34 $\pm$ 1,56	12,34 $\pm$ 1,56	18,23 $\pm$ 0,92	18,23 $\pm$ 0,92	11,19 $\pm$ 0,80	11,19 $\pm$ 0,80
5	22,07 $\pm$ 3,40	10,55 $\pm$ 0,14	10,86 $\pm$ 3,03	4,87 $\pm$ 0,76	14,58 $\pm$ 1,78	4,74 $\pm$ 0,90	13,54 $\pm$ 0,79	4,52 $\pm$ 0,57
8	13,55 $\pm$ 0,57	4,44 $\pm$ 0,45	13,98 $\pm$ 0,43	3,39 $\pm$ 1,04	10,76 $\pm$ 1,15	0,92 $\pm$ 0,39	10,18 $\pm$ 0,07	4,61 $\pm$ 1,00
9	24,30 $\pm$ 1,97	11,57 $\pm$ 2,51	13,15 $\pm$ 1,82	4,68 $\pm$ 1,49	13,74 $\pm$ 1,33	4,94 $\pm$ 0,46	8,12 $\pm$ 0,20	5,78 $\pm$ 0,73
16	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-
46	52,77 $\pm$ 7,45	29,41 $\pm$ 4,81	24,02 $\pm$ 0,67	7,89 $\pm$ 0,85	30,52 $\pm$ 4,09	8,69 $\pm$ 0,47	29,83 $\pm$ 5,61	11,63 $\pm$ 0,40
50	21,50 $\pm$ 5,73	9,00 $\pm$ 0,82	10,12 $\pm$ 1,38	5,42 $\pm$ 0,86	8,19 $\pm$ 0,96	6,00 $\pm$ 0,43	9,78 $\pm$ 0,27	8,20 $\pm$ 1,80
53	14,90 $\pm$ 2,45	15,60 $\pm$ 4,86	5,80 $\pm$ 0,05	6,16 $\pm$ 1,62	22,95 $\pm$ 0,10	10,25 $\pm$ 0,95	12,70 $\pm$ 2,63	10,19 $\pm$ 3,33

Nota: nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas as análises.

Tabela 13- Valores de concentração de clorofila e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar: RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

CLOROFILA ( AT LEAF)								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	48,69 ± 0,51	48,69 ± 0,51	49,11 ± 2,06	49,11 ± 2,06	50,63 ± 2,48	49,30 ± 1,45	51,93 ± 0,62	50,84 ± 1,60
5	49,49 ± 0,64	48,47 ± 3,68	48,15 ± 0,65	48,13 ± 1,94	43,46 ± 0,36	39,53 ± 1,11	46,88 ± 0,28	46,86 ± 0,44
8	50,80 ± 3,48	34,37 ± 0,92	47,68 ± 1,22	39,01 ± 1,16	46,17 ± 0,15	31,52 ± 3,49	47,59 ± 0,52	34,27 ± 0,95
9	52,09 ± 1,84	32,09 ± 1,66	53,01 ± 1,86	30,13 ± 3,08	49,73 ± 0,95	33,58 ± 2,03	51,71 ± 2,24	36,82 ± 1,35
16	46,32 ± 0,67	46,76 ± 0,41	48,52 ± 1,54	48,82 ± 0,85	45,67 ± 0,23	44,89 ± 1,33	46,56 ± 0,89	52,27 ± 0,59
37	47,84 ± 1,25	51,61 ± 0,10	44,46 ± 1,00	50,14 ± 1,20	45,84 ± 2,27	44,16 ± 1,21	45,86 ± 0,72	47,19 ± 0,98
46	45,58 ± 0,27	41,95 ± 1,33	46,13 ± 2,07	44,48 ± 1,15	42,00 ± 1,57	45,33 ± 1,37	40,02 ± 0,83	42,64 ± 2,96
50	48,27 ± 3,27	39,16 ± 1,09	47,84 ± 2,31	35,90 ± 2,62	46,00 ± 1,37	37,07 ± 0,41	35,68 ± 2,27	37,82 ± 1,34
53	50,04 ± 0,95	41,75 ± 2,59	53,73 ± 1,82	36,73 ± 0,41	39,43 ± 0,98	36,65 ± 4,05	37,50 ± 0,44	37,32 ± 2,49

Tabela 14- Valores de taxa de transpiração e desvio das variedades de cana-de-açúcar: RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

TRANSPIRAÇÃO (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	2,51 ± 0,16	2,51 ± 0,16	2,47 ± 0,09	2,47 ± 0,09	2,44 ± 0,20	2,06 ± 0,08	2,35 ± 0,19	1,99 ± 0,23
5	2,84 ± 0,13	1,83 ± 0,36	2,90 ± 0,10	1,39 ± 0,36	2,87 ± 0,33	0,45 ± 0,05	3,51 ± 0,51	0,78 ± 0,04
8	4,07 ± 0,18	0,31 ± 0,17	3,76 ± 0,22	0,79 ± 0,34	3,60 ± 0,33	0,50 ± 0,06	3,87 ± 0,32	0,43 ± 0,14
9	4,50 ± 0,27	0,91 ± 0,17	4,01 ± 0,53	1,89 ± 0,66	3,93 ± 0,20	2,49 ± 0,15	3,75 ± 0,45	3,11 ± 0,21
16	1,76 ± 0,10	2,06 ± 0,66	1,98 ± 0,21	2,19 ± 0,06	2,09 ± 0,25	1,67 ± 0,15	2,57 ± 0,40	2,63 ± 0,15
37	1,77 ± 0,16	3,02 ± 0,26	2,23 ± 0,10	2,69 ± 0,13	1,92 ± 0,24	3,07 ± 0,18	3,12 ± 0,10	2,74 ± 0,39
46	2,09 ± 0,15	3,30 ± 0,08	2,27 ± 0,22	1,50 ± 0,46	2,21 ± 0,28	0,82 ± 0,11	2,80 ± 0,33	1,00 ± 0,08
50	2,30 ± 0,03	0,46 ± 0,09	2,40 ± 0,12	1,08 ± 0,07	2,21 ± 0,28	1,03 ± 0,09	3,19 ± 0,01	0,95 ± 0,13
53	2,10 ± 0,12	0,61 ± 0,08	1,98 ± 0,14	1,08 ± 0,05	2,56 ± 0,10	0,81 ± 0,27	3,92 ± 0,34	0,71 ± 0,13

Tabela 15- Valores de respiração e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

RESPIRAÇÃO ( $\mu\text{molCO}_2\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	1,48 ± 0,28	1,48 ± 0,28	2,31 ± 0,15	2,31 ± 0,15	2,18 ± 0,24	2,18 ± 0,24	2,19 ± 0,06	2,19 ± 0,06
5	1,65 ± 0,28	2,30 ± 0,30	1,61 ± 0,17	2,58 ± 0,48	0,94 ± 0,20	0,94 ± 0,20	0,57 ± 0,25	1,80 ± 0,19
8	0,26 ± 0,10	0,54 ± 0,02	1,27 ± 0,02	1,57 ± 0,22	1,61 ± 0,08	1,99 ± 0,31	3,63 ± 0,13	2,25 ± 0,14
9	1,00 ± 0,13	0,79 ± 0,16	0,79 ± 0,15	0,64 ± 0,05	1,12 ± 0,09	1,39 ± 0,22	1,26 ± 0,01	1,00 ± 0,14
16	1,00 ± 0,13	0,61 ± 0,06	1,67 ± 0,05	0,63 ± 0,05	1,38 ± 0,13	0,74 ± 0,04	1,08 ± 0,02	0,85 ± 0,03
37	0,86 ± 0,02	0,90 ± 0,07	0,65 ± 0,02	0,61 ± 0,02	0,91 ± 0,01	0,71 ± 0,06	1,14 ± 0,10	1,10 ± 0,06
46	1,58 ± 0,15	0,63 ± 0,09	0,62 ± 0,25	0,82 ± 0,06	0,56 ± 0,17	0,78 ± 0,11	0,90 ± 0,18	1,09 ± 0,06
50	1,07 ± 0,08	1,99 ± 0,30	1,01 ± 0,08	1,35 ± 0,30	0,86 ± 0,08	1,14 ± 0,32	1,32 ± 0,13	0,92 ± 0,27
53	0,97 ± 0,03	1,75 ± 0,06	1,63 ± 0,03	1,63 ± 0,03	0,85 ± 0,11	2,07 ± 0,11	2,50 ± 0,42	2,13 ± 0,07

Tabela 16- Valores de potencial hídrico máximo e desvio padrão das variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

<b>POTENCIAL HÍDRICO MÁXIMO ( MPa)</b>								
<b>TEMPO</b>	<b>RB 72454</b>		<b>RB 867515</b>		<b>RB 835486</b>		<b>RB 855453</b>	
	<b>R</b>	<b>SR</b>	<b>R</b>	<b>SR</b>	<b>R</b>	<b>SR</b>	<b>R</b>	<b>SR</b>
0	-0,25 ± 0,05	-0,25 ± 0,05	-0,35 ± 0,01	-0,35 ± 0,01	-0,35 ± 0,01	-0,35 ± 0,02	-0,30 ± 0,01	-0,27 ± 0,02
5	-0,25 ± 0,03	-1,57 ± 0,08	-0,43 ± 0,01	-1,65 ± 0,05	-0,33 ± 0,04	-2,12 ± 0,01	-0,27 ± 0,03	-1,73 ± 0,25
8	-0,4 ± 0,02	-1,82 ± 0,01	-0,30 ± 0,01	-2,07 ± 0,01	-0,32 ± 0,01	-2,40 ± 0,02	-0,28 ± 0,02	-2,40 ± 0,01
9	-0,35 ± 0,03	-0,28 ± 0,02	-0,25 ± 0,02	-0,33 ± 0,02	-0,20 ± 0,02	-0,33 ± 0,05	-0,25 ± 0,02	-0,32 ± 0,02
16	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-0,25 ± 0,02	-1,30 ± 0,03	-0,25 ± 0,01	-1,02 ± 0,02	-0,45 ± 0,03	-1,05 ± 0,03	-0,43 ± 0,03	-1,13 ± 0,00
50	-0,20 ± 0,02	-1,37 ± 0,04	-0,22 ± 0,06	-1,73 ± 0,01	-0,32 ± 0,02	-1,32 ± 0,05	-0,23 ± 0,04	-1,02 ± 0,06
53	-0,3 ± 0,02	-0,83 ± 0,01	-0,27 ± 0,04	-0,83 ± 0,08	-0,27 ± 0,01	-0,95 ± 0,03	-0,23 ± 0,01	-1,02 ± 0,11

Nota – nos espaços preenchidos com hífen não foram realizadas as análises.

Tabela 17- Valores de potencial hídrico mínimo e desvio padrão das variedades RB72454, RB867515, RB835486, RB 855453, nos tratamentos controle (R) e déficit hídrico (SR).

POTENCIAL HÍDRICO MÍNIMO (MPa)								
TEMPO	RB 72454		RB 867515		RB 835486		RB 855453	
	R	SR	R	SR	R	SR	R	SR
0	0,95 ± 0,06	0,95 ± 0,06	0,80 ± 0,06	0,72 ± 0,11	0,90 ± 0,17	0,87 ± 0,17	0,78 ± 0,02	0,73 ± 0,10
5	0,75 ± 0,06	1,87 ± 0,04	1,13 ± 0,12	2,25 ± 0,08	0,90 ± 0,19	2,45 ± 0,00	1,25 ± 0,07	2,33 ± 0,07
8	0,9 ± 0,17	2,53 ± 0,18	0,67 ± 0,08	2,15 ± 0,10	1,07 ± 0,02	2,5 ± 0,00	1,63 ± 0,07	2,83 ± 0,00
9	1,1 ± 0,12	1,33 ± 0,20	1,45 ± 0,08	1,37 ± 0,07	1,47 ± 0,02	1,23 ± 0,10	1,57 ± 0,07	1,33 ± 0,09
16	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-
46	1,00 ± 0,09	1,45 ± 0,13	1,20 ± 0,06	1,57 ± 0,13	1,37 ± 0,06	1,7 ± 0,05	1,23 ± 0,15	1,83 ± 0,05
50	1,2 ± 0,13	1,48 ± 0,20	1,58 ± 0,06	1,47 ± 0,15	1,23 ± 0,07	2,02 ± 0,11	1,18 ± 0,02	1,63 ± 0,03
53	1,1 ± 0,02	1,67 ± 0,26	1,63 ± 0,04	1,75 ± 0,20	1,82 ± 0,04	2,58 ± 0,11	1,77 ± 0,07	2,23 ± 0,09