



PATRÍCIA MARA DE OLIVEIRA

**A TOLERÂNCIA E A SENSIBILIDADE À SECA
ESTÃO RELACIONADAS COM A
REMOBILIZAÇÃO DE CARBOIDRATOS EM
CANA-DE-AÇÚCAR?**

LAVRAS - MG

2021

PATRÍCIA MARA DE OLIVEIRA

**A TOLERÂNCIA E A SENSIBILIDADE À SECA ESTÃO
RELACIONADAS COM A REMOBILIZAÇÃO DE CARBOIDRATOS EM
CANA-DE-AÇÚCAR?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Agronomia, para obtenção
do título de Bacharel.

Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori
Orientador

LAVRAS - MG

2021

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Oliveira, Patrícia Mara

A tolerância e a sensibilidade à seca estão relacionadas com a remobilização de carboidratos em cana-de-açúcar? / Patrícia Mara de Oliveira. 2^a ed. rev., atual. e ampl. – Lavras : UFLA, 2021.

31 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso–Universidade Federal de Lavras, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori.

Bibliografia.

1. Estresse hídrico. 2. estratégias de tolerância. 3. bioquímica. 4. *Saccharum ssp.* 5. fotossíntese. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-808.066

PATRÍCIA MARA DE OLIVEIRA

**A TOLERÂNCIA E A SENSIBILIDADE À SECA ESTÃO
RELACIONADAS COM A REMOBILIZAÇÃO DE CARBOIDRATOS EM
CANA-DE-AÇÚCAR?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Agronomia, para obtenção
do título de Bacharel.

APROVADA em 14 de Março de 2021.

Dra Neidiquele Maria Silveira	IAC
Msc. Zulma Catherine Cardenal Rubio	UFLA
Dra. Lissa Vasconcellos Vilas Boas (Suplente)	UFLA

Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori
Orientador

**LAVRAS - MG
2021**

Aos meus pais, irmãs e noivo, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paulo Marchiori, pela orientação, dando todo auxílio necessário para a realização desta pesquisa. À Catherine Cardenal Rubio, pelo incentivo, seu grande desprendimento em me ajudar durante todas as etapas da execução deste trabalho. Aos membros do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Molecular de Plantas (LBFMP/UFLA), por todo apoio e ajuda. À banca pela disponibilidade e contribuições. Ao Setor de Fisiologia Vegetal pela disponibilização do material necessário para a execução da pesquisa.

*Eu costumava achar que eu era a pessoa mais estranha do mundo, mas logo
pensei: tem muita gente no mundo. Tem que ter alguém como eu, que se sinta
bizarra e imperfeita, da mesma maneira como eu me sinto.
(Frida Kahlo)*

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar e o segundo maior produtor e exportador de etanol. No entanto, o déficit hídrico ocasiona perdas de até 60% na produção causando prejuízos econômicos. Diante disso, objetivou-se avaliar o metabolismo de carboidratos em duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) submetidas à seca e analisar sua relação com as estratégias de tolerância e sensibilidade ao estresse hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sendo duas variedades de cana-de-açúcar (RB855536-sensível a seca e RB867515-tolerante a seca), plantadas em vasos de 3.8 litros. Após 91 dias do plantio as mudas foram submetidas aos seguintes tratamentos: (i) Irrigação e (ii) déficit hídrico (DH), impostas com a suspensão da rega por 8 dias, seguidas de reidratação. Foram realizadas duas coletas, sendo a primeira no período de máximo estresse (ME), e a segunda após a reidratação (REC). Foi realizada análise de crescimento semanalmente, assimilação diurna de CO₂ (A), potencial hídrico (w), conteúdo relativo de água (CRA) e determinação de macromoléculas (Açúcares solúveis totais -AST, açúcares redutores- AR, sacarose-SAC, amido-A e proteína total-PT) nos tecidos de folha, colmo e raiz nas duas coletas. Para as variáveis de biometria analisadas o genótipo não promoveu melhor desempenho durante o estresse hídrico. As plantas sob máximo estresse, da variedade RB867515, apresentaram maior conteúdo de sacarose e amido após a recuperação que a variedade RB855536. Esses resultados indicam que a variedade RB867515 se mostrou mais tolerante à seca que a RB855536 quando submetidas à deficiência hídrica, pois após a reidratação essa apresentou melhor recuperação devido à translocação de carboidratos.

Palavras-chave: Estresse hídrico, estratégias de tolerância, bioquímica, *Saccharum ssp.*, fotossíntese.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer and exporter of sugar and the second largest producer and exporter of ethanol. However, the water deficit causes losses of up to 60% in production causing economic losses. Therefore, the objective was to evaluate the metabolism of carbohydrates in two varieties of sugar cane (*Saccharum ssp.*) drought and analyze its relationship with the strategies of tolerance and resistance to water stress. The experiment was conducted in a greenhouse, with two varieties of sugarcane (RB85 5536-drought sensitive and RB86 7515-drought tolerant) planted in 3.8-liter pots. After 91 of the planting, the seedlings were submitted to the following treatments: (i) Irrigated and (ii) water deficit (DH), imposed with the suspension of irrigation for 8 days, followed by rehydration. Two collections were carried out, the first in the period of maximum stress (ME), and the second after rehydration (REC). Analysis of growth was performed weekly, daytime assimilation of CO₂ (A), water potential (w), relative water content (CRA) and determination of macromolecules (Total soluble sugars -AST, reducing sugars-AR, sucrose-SAC, starch- A and total protein-PT) in leaf, stem and root tissues in both collections. For the biometric variables analyzed, the genotype did not promote better performance during water stress. The plants under maximum stress, of the RB867515 variety after recovery, had higher sucrose and starch content than the RB855536 variety. These results suggest that the variety RB867515, was more tolerant to drought, than the variety RB 85 5536 when submitted to water deficiency, because after its rehydration it presented better recovery due to translocation of carbohydrates.

Keywords: Water stress, tolerance strategies, biochemistry, *Saccharum ssp.*, Photosynthesis.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – : Fotografia montagem do experimento (A) plantio dos toletes de cana-de-açúcar em citropotes (B) toletes com a gema utilizado para o plantio e (C) visão geral do crescimento da cana-de-açúcar 27 dias após do plantio (DAP). 20
- Figura 3.2 – Plantas de Cana-de- Açúcar das variedades RB85 7515 e RB855536 submetidas a irrigação adequada (90% da capacidade de campo) (A) e estresse hídrico de 8 dias (B). . . . 22
- Figura 4.1 – Representação da Temperatura e Umidade Relativa do Ar em casa de vegetação, durante a execução do experimento. 24
- Figura 4.2 – Análise do teor de Açúcar Solúvel Total (AST) em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas aos tratamentos irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante o máximo estresse. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade.. 30
- Figura 4.3 – Análise do teor de sacarose em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas ao tratamento irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante a recuperação. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas compraram as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade. 32
- Figura 4.4 – Análise do teor de Açúcar Redutor (AR) em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas aos tratamentos irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante o máximo estresse. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade. 34
- Figura 4.5 – Análise do teor de amido em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas ao tratamento irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a reidratação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a reidratação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante a reidratação.

As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade. 36

Figura 4.6 – Análise do teor de proteína em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas ao tratamento irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante a recuperação. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Crescimento e acúmulo da matéria seca de folhas, caule, raízes e total de duas variedades de cana-de-açúcar (RB855536 e RB867515) cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no máximo estresse (ME).	26
Tabela 4.2 – Crescimento e acúmulo da matéria seca de folhas, caule, raízes e total de duas variedades de cana-de-açúcar (RB855536 e B867515) cultivadas em duas condições hídricas e coletadas 4 dias após reidratação (REC).	26
Tabela 4.3 – Variáveis fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no máximo estresse (ME).	28
Tabela 4.4 – Variáveis fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas na recuperação (REC)	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 A cana-de-açúcar	15
2.2 Estresse hídrico	16
2.3 Metabolismo de carboidratos em plantas	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Local de estudo e material vegetal	19
3.2 Condução do experimento	19
3.3 Variáveis Analisadas	20
3.3.1 Avaliações morfológicas	20
3.3.2 Avaliações fisiológicas	20
3.3.3 Potencial hídrico foliar	21
3.3.4 Avaliação do conteúdo relativo da água na folha CRA	21
3.3.5 Biomassa	21
3.4 Conteúdo de carboidratos	22
3.4.1 Extração de macromoléculas	22
3.4.2 Açúcares solúveis totais	22
3.4.3 Açúcares redutores	22
3.4.4 Amido	23
3.4.5 Proteína	23
3.5 Delineamento experimental e análises de resultados	23
4 RESULTADOS	23
4.1 Análise de variáveis biométricas	24
4.2 Análise de variáveis Fisiológicas	26
4.3 Análise de variáveis Bioquímicas	28
5 DISCUSSÃO	38
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	42
APENDICE A – Material suplementar	47

1 INTRODUÇÃO

Devido à grande importância econômica e produção de bioenergia, a cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) vem sendo cada vez mais estudada para aumentar a sua produtividade, principalmente em locais com restrição hídrica. Além disso uma das maiores restrições na produção mundial da cana-de-açúcar é a limitação da água, pois o estresse hídrico reduz o seu rendimento (BASNAYAKE et al., 2012). A cana-de-açúcar é uma cultura que demanda alta quantidade de água, essa escassez diminui a sua produtividade e a leva depende do grau de falta de água a deficiência hídrica.

Quando a demanda por água é maior do que a capacidade das plantas em absorver e transportar água pelas raízes, ocorre a deficiência hídrica (AROCA et al., 2011). Durante seca, as plantas têm o seu metabolismo alterado pela ativação de diferentes mecanismos de resistência para buscar tolerância ao déficit hídrico (BRITO et al., 2008).

Com a falta de água a fotossíntese é afetada pois a planta terá menor área foliar. E conseqüentemente, menor conversão de energia luminosa em energia química (ATP e NADPH) usada na assimilação de CO₂ atmosférico e formação de açúcares, alterando os processos bioquímicos e diminuindo a quantidade de biomassa da planta, prejudicando a produtividade.

A falta de água nas plantas modifica os seus tecidos e estruturas, e a desidratação faz com que a planta feche os seus estômatos para evitar a perda de água (ASADA et al., 1999). No entanto, existe variação nas respostas para essa condição abiótica e ela pode estar condicionada ao genótipo, como em materiais tolerantes e sensíveis à seca. Plantas tolerantes à seca possuem a capacidade de diminuir o metabolismo com intuito de economizar energia em resposta ao estresse hídrico, suportando longos períodos de falta de água (SOUZA LUTTGE, 2015). Dessa forma, é importante comparar os mecanismos fisiológicos e bioquímicos de tolerância e sensibilidade à seca para conhecer as suas diferenças, sendo possível contribuir com os estudos envolvidos na compreensão de tolerância ao estresse hídrico.

A falta de água nas plantas modifica os seus tecidos e estruturas, e a desidratação faz com que a planta feche os seus estômatos para evitar a perda de água (ASADA et al., 1999). No entanto, existe variação nas respostas para essa condição abiótica e ela pode estar condicionada ao genótipo, como em materiais tolerantes e sensíveis à seca. Plantas tolerantes à seca possuem a capacidade de diminuir o metabolismo com intuito de economizar energia em resposta ao estresse hídrico, suportando longos períodos de falta de água (SOUZA LUTTGE, 2015). Dessa forma, é importante comparar os mecanismos fisiológicos e bioquímicos de

tolerância e sensibilidade à seca para conhecer as suas diferenças, sendo possível contribuir com os estudos envolvidos na compreensão de tolerância ao estresse hídrico.

Foi testada a hipótese de que as plantas de cana-de-açúcar tolerantes à seca, quando submetidas à deficiência hídrica, irão se recuperar mais rapidamente que as plantas sensíveis devido ao maior acúmulo de carboidratos que podem ser remobilizados por outras partes da planta. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi testar essa hipótese usando variedades de cana-de-açúcar que apresentam sensibilidade e tolerância à seca. Existem variedades que diferem na resposta a eventos de seca, temos plantas resistentes e sensíveis, dentro dos mecanismos de resistência, em especial no de tolerância as alterações no metabolismo de carboidratos (remobilização) não têm sido consideradas como estratégia para lidar com o evento estressante. por tanto observar se existe um comportamento diferencial entre plantas tolerantes e sensíveis no metabolismo de carboidratos e que esteja associado a remobilização de carboidratos pode ser de utilidade para elucidar o porquê as plantas tolerantes apresentam maior vantagem do que sensíveis

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cana-de-açúcar

Originária do sul e sudeste da Ásia, com o centro de diversidade em Nova Guiné, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma gramínea C4, da família Poaceae, gênero *Saccharum*; os cultivares comerciais atuais são híbridos interespecíficas e as principais espécies são *Saccharum officinarum*, *S. robustum Brandes e Jeswiet ex Grassi*, *S. barberi Jeswiet*, *S. sinensis Roxb.*, *S. spontaneum L.* e *Sedule Hassk.*

Suas folhas alternas, opostas e são presas ao colmo, que é constituído por nós e entrenós, contendo uma gema em cada, é uma planta alógama, com inflorescência do tipo panícula. Sua propagação é assexuada, por meio de colmos divididos em toletes de aproximadamente 7 cm com 3 a 2 gemas. Surgiu a partir de *S. robustum*, sendo que a seleção para obtenção de colmos mais grossos e com maior quantidade de sacarose, aconteceu durante a sua domesticação em Nova Guiné.

A cultura foi introduzida no Brasil no início do século XVI, inicialmente no nordeste, a principal atividade era a extração do açúcar; porém, atualmente a cana tem sido usada para outras finalidades como alimentação animal e humana, bioenergia, cachaça entre outras. A primeira cultivar introduzida foi crioula, um híbrido natural de *Saccharum officinarum* x

Saccharum barberi, em 1532, na Capitania de São Vicente. O Brasil atualmente é o maior produtor de cana-de-açúcar, cultivando aproximadamente 8,61 milhões de hectares (CONAB, 2019). Devido a sua importância econômica, tem-se aumentado a demanda da cultura para a sua utilização na produção de energia sustentável. No país, o seu principal uso é para a produção de etanol (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al. 2011).

Uma das maiores restrições na produção mundial da cana-de-açúcar é a limitação da água, pois o estresse hídrico reduz o seu rendimento (BASNAYAKE et al., 2012). O teor hídrico das plantas diminui quando as taxas de transpiração excedem as de absorção da água (MARENCO e LOPES, 2013). Assim, o rendimento e a produtividade das plantas são afetados pelo estresse abiótico, diminuindo o seu desenvolvimento (KIM e GLENN 2015). Sabe-se que plantas expostas a deficiência hídrica tem o seu metabolismo alterado pela ativação de diferentes respostas sob a condição de seca, como afirma Brito et, al. (2008).

De acordo com os dados da CONAB de 2020, a produção de cana-de-açúcar é bastante afetada pelo déficit hídrico, pois se teve uma redução na produção na região sudeste do Brasil, no qual ocorre a principal produção desta cultura, dessa maneira a falta de água diminuiu a safra de 2019-2020.

2.2 Estresse hídrico

A água é de extrema importância para o desenvolvimento da planta, o desequilíbrio entre absorção e transporte de água causam deficiências hídricas, tornando ineficiente os processos celulares. O equilíbrio hídrico é dado pela diferença entre a absorção de água e a sua perda. A falta de água nas plantas modifica os seus tecidos e estruturas, e a desidratação faz com que a planta feche os seus estômatos para evitar a perda de água. Para tentar buscar mais água, as raízes apresentam maior crescimento, pois a captação de água nas raízes acontece por meio de duas forças que regulam a sua entrada, são elas as forças osmóticas e hidrostáticas (AROCA et al., 2011).

Por serem sésseis, elas não conseguem escapar de fatores abióticos que podem lhe causar estresse. Assim, elas desenvolvem estratégias adaptativas para conseguir sobreviver como a redução do seu crescimento, diminuição da fotossíntese, danos oxidativos, alterações hormonais e acúmulo de proteínas relacionadas ao estresse (AROCA et al., 2011).

Cultivares de cana-de-açúcar com características de tolerância à seca podem diminuir os problemas relacionados à seca e reduzir as perdas de rendimento de estresse por seca (JANGPROMMA et al., 2012). Tolerância à seca é uma das alternativas das plantas para manter

a produção de maneira econômica sob restrições hídricas, pois, com a seleção das características fisiológicas relevantes para a tolerância à seca indicam que podem aumentar o melhoramento da cana para esse fator, como afirma Munns (2002)

2.3 Metabolismo de carboidratos em plantas

Para que as plantas sintetizem compostos orgânicos é necessário que aconteça a fotossíntese, a energia armazenada é usada em processos metabólicos e como fonte de energia para a planta suprir as suas necessidades fisiológicas (Marenco e Lopes, 2013). O tecido fotossintetizador mais ativo é o mesofilo, por conter cloroplastos, que são organelas ricas em pigmentos especializados em absorver luz, as clorofilas (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017). Para formar os compostos orgânicos, como os carboidratos, é preciso que a água seja oxidada e o CO₂ reduzido (MARENCO e LOPES, 2013). Nos tilacoides, a energia da luz é usada para oxidar a molécula de água e formar trifosfato de adenosina (ATP) e nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH), compostos altamente energéticos, utilizados na síntese de açúcares nas reações de fixação de carbono (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017). Dentro dos cloroplastos, existem pequenas estruturas denominadas tilacoides, rodeadas pelo fluido que preenche o cloroplasto, chamado estroma, neste local, são sintetizadas as trioses fosfato e acontece o ciclo de Calvin, as reações dependentes de luz ocorrem no tilacoide.

No PSII, os elétrons energizados passam do centro de reação para uma cadeia de transporte de elétrons, os elétrons perdidos pelo PSII são substituídos por um processo denominado fotólise, que envolve a oxidação de uma molécula de água, produzindo elétrons livres e O₂. O O₂ é um subproduto da fotossíntese, que é importante para as vias de respiração celular. À medida que os elétrons passam pela cadeia de transporte de elétrons, a energia do elétron é usada para transportar íons hidrogênio do estroma para o lúmen, criando um gradiente de concentração. Esse gradiente de concentração permite o funcionamento da proteína ATP-sintase, que fosforila o ADP para ATP, os elétrons de baixa energia que saem do PSII, são entregues ao PSI. No PSI, os elétrons de baixa energia são reenergizados e passam por outra cadeia de elétrons.

Quando os cloroplastos recebem um suprimento satisfatório de fótons, as moléculas de NADPH e ATP são usadas para os processos metabólicos do estroma. Portanto, o NADPH e o ATP formados durante as reações luminosas são usadas no estroma como combustíveis para as reações do Ciclo de Calvin.

O Ciclo de Calvin, consistem em uma série de reações que reduzem CO₂ para produzir o carboidrato gliceraldeído-3-fosfato (G3P). O ciclo acontece em três etapas: carboxilação da molécula aceptora de CO₂ a Ribulose1-5 bofosfato RUBP reação que é catalisada pela RUBISCO, gerando duas moléculas de um intermediário de três carbonos, a 3-fosfoglicerato (PGA). A segunda etapa é a redução do 3-fosfoglicerato, nela acontece uma série de reações enzimáticas acionada por NADPH e ATP gerados fotoquimicamente para reduzir o dióxido de carbono em 1,3-bisfosfoglicerato. Na etapa final, acontece a regeneração da ribulose1,5-bifosfato (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017). Para cada três voltas no ciclo, 5 moléculas de G3P são usadas para formar novamente três moléculas de RuBP, o G3P remanescente é usado para fazer glicose, ácidos graxos ou glicerol.

São gastas duas moléculas de G3P para produzir uma molécula de glicose fosfato, assim, o ciclo de Calvin precisa girar seis vezes para produzir uma molécula de glicose. Essas moléculas podem ter o fosfato removido e uma frutose adicionada para formar a sacarose, a molécula que as plantas usam para transportar carboidratos pelo seu sistema. A glicose fosfato é também o ponto de partida para a síntese de amido e celulose; plantas produzem moléculas de açúcar para usar como moléculas de armazenamento e componentes estruturais em seu próprio benefício (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017). Ao usar a energia do sol e as entradas de H₂O e CO₂, as plantas conseguem produzir glicose e o O₂ é um subproduto da fotossíntese.

As plantas do tipo C3 apresentam o mecanismo para produção de açúcares exatamente como descrito acima. No entanto, as plantas do tipo C4, como a cana-de-açúcar, apresentam diferenças bioquímica e anatômicas particulares, pois apresentam dois tipos celulares diferentes: as células do mesofilo e as da bainha do feixe vascular.

O feixe vascular é cercado pela bainha do feixe vascular clorenquimatosa, produzindo a anatomia Kranz. O ciclo fotossintético C4 do carbono irá fixar o CO₂ atmosférico via PEPCase, tendo como produtos finais ácidos de quatro carbonos, que são levados para outro compartimento da célula; o CO₂ liberado dessa reação é refixado pela rubisco. Acredita-se que esse mecanismo seja uma adaptação de plantas ancestrais que apresentavam mecanismo do tipo C3 (TAIZ, L.; ZEIGER 2017).

Sabe-se que os fotoassimilados são transportados por fluxo de massa entre a fonte e o dreno; portanto, esse processo é regulado pela condutância hidráulica do floema, representada pela diferença de pressão hidrostática da fonte e o dreno, área transversal dos elementos de tubo crivado e a concentração de fotoassimilados transportados (RIBEIRO et al., 2020).

Os estudos fisiológicos e bioquímicos de plantas são importantes porque é por meio deles que se conhece as aclimações das plantas a condições de estresse ambientais e, por ele

que se pode compreender os processos básicos de seu metabolismo. De acordo com PASSOS (1996) apud Santos et al. (2010) os carboidratos são metabólitos primários, os quais fornecem esqueletos de carbono e energia para a biossíntese de compostos orgânicos envolvidos no metabolismo celular e determinam os seus níveis, mostrando a reserva disponível para o crescimento da planta; isso gerará várias aplicações nos estudos em fisiologia vegetal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudo e material vegetal

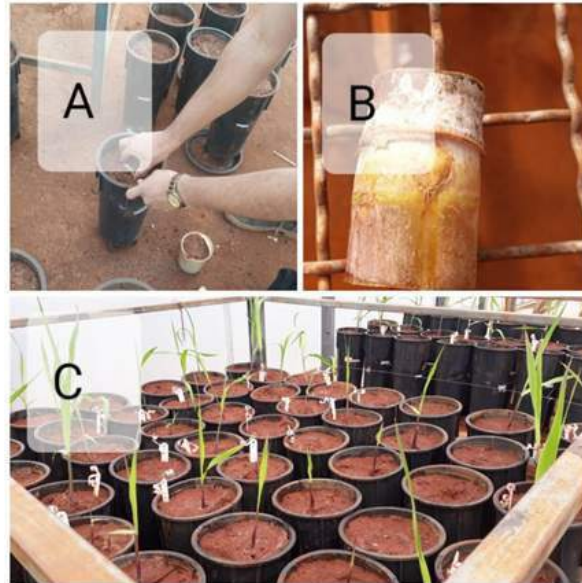
O experimento foi conduzido em casa de vegetação no departamento de Fisiologia Vegetal da UFLA, utilizando duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). A RB855536, apresentando características de alta produtividade agroindustrial e susceptibilidade a seca e a variedade RB867515 que atende as necessidades canaviais que apresentam solos arenosos, fertilidade baixa e restrições hídricas. Ambos os materiais liberados pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA BRASIL, 2010, março).

3.2 Condução do experimento

Foram plantados mini-toletes colmos dos materiais descritos anteriormente, em citropotes de 3,8 litros cada, com uma mistura de terra com areia na proporção (2:1). A temperatura da casa de vegetação foi monitorada durante a condução do experimento.

O déficit hídrico teve início 91 dias após o plantio (DAP), mediante a suspensão da irrigação por 8 dias, este período foi o tempo no qual as plantas conseguiram atingir o ponto de máximo estresse (ME). O ME foi estabelecido mediante avaliações de A com valores próximos a zero e mediante a observação de sintomas de seca nas plantas (clorose de folhas e enrolamento das mesmas). Neste primeiro ponto (ME) a metade das plantas foi coletada enquanto a outra metade foi reidratada e mantida por mais 4 dias e logo após isso ocorreu a segunda coleta na recuperação (REC). Para cada tempo de coleta se teve plantas controle, que correspondiam às plantas irrigadas durante todo o experimento. Figura 3.1.

Figura 3.1: Fotografia montagem do experimento (A) plantio dos toletes de cana-de-açúcar em citropotes (B) toletes com a gema utilizado para o plantio e (C) Visão geral do crescimento da cana-de-açúcar 27 dias após do plantio (DAP).



3.3 Variáveis Analisadas

3.3.1 Avaliações morfológicas

Foi acompanhado o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, sendo avaliados a cada três dias a altura (H) das plantas (colo até a inserção da folha +1), altura e diâmetro dos colmos, número de folhas secas e verdes, área foliar (AF), utilizando uma régua comum de madeira e um paquímetro.

3.3.2 Avaliações fisiológicas

As avaliações de assimilação de CO_2 (A) em planta inteira aconteceram 91, 95 e 99 dias após o plantio (DAP), para isso foi utilizado um medidor portátil de CO_2 e H_2O , (SBA-5, PP Systems, EUA) acoplado a uma câmara de sistema fechado (sem renovação do ar). Assim e de acordo com Ribeiro (2006) a avaliação fotossintética foi medida pela quantidade de dióxido de carbono atmosférico absorvido pelas plantas, durante a fotossíntese. A câmara com volume de 0,0037 m^3 teve a sua temperatura monitorada com um termohidrômetro digital Instrutherm

(modelo HT-500), cada medição com duração de 3 minutos. A taxa de assimilação de CO₂, foi calculada a partir das seguintes equações descritas por (MITCHELL, 2002):

$$AF_c = C * L * 0,75 * (N+2)$$

$$PN = \frac{(C1 - C2)}{\frac{(T2 - T1) * v * 1}{L}}$$

(Equação 1) Estimação da área foliar. A letra L indica a largura da folha, C o comprimento da folha e N é a quantidade de folhas presentes no vaso, 0,75 fator de correção considerando o formato da folha (MITCHELL, 2002).

(Equação 2) Taxa de assimilação fotossintética (PN). Os termos C1 e C2, indicam a concentração de CO₂ presente na câmara durante o tempo inicial o tempo final. O volume é indicado em m³, por v e L é a área foliar em m².

3.3.3 Potencial hídrico foliar

Na madrugada antes da coleta, foi realizada a medição de potencial hídrico foliar com o auxílio da Câmara de pressão de Scholander (PMS Instruments Company – Albany, OR, EUA). A determinação foi realizada entre as 04:00 h e 05:00 h da manhã e a tarde entre 12:00 h e 13:00h.

3.3.4 Avaliação do conteúdo relativo da água na folha CRA.

No dia da coleta, 5 discos de igual tamanho foram tirados de (folha +1, bainha e raiz pesados em fresco e armazenados em placas de petri contendo água, no seguinte dia, foram pesados para obter o peso turgido e em seguida foram colocados em estufa a 60° C onde permaneceram por mais 72 horas até atingir peso estável, neste ponto, foram pesados mais uma vez com a finalidade de obter peso seco. O CRA foi calculado segundo método proposto por WEATHERLEY (1950).

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

3.3.5 Biomassa

As plantas foram coletadas e separadas, a parte aérea da parte radicular e colocadas na estufa de circulação forçada a 60 °C em sacos de papel pardo, uma vez atingiram peso estável foram pesadas para estimar a quantidade de massa seca da raiz, folha e bainha.

3.4 Conteúdo de carboidratos

Em laboratório foram realizadas análises de carboidratos utilizando tecidos de folha, bainha e raiz, conforme os protocolos descritos. Para ditas análises foi utilizado parte do material seco obtido nos dias de coleta.

3.4.1 Extração de macromoléculas

Conforme o protocolo de Extração de macro e micromoléculas de Zanandrea et al. (2010), 0,2g de massa seca foi homogenizada em 10mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M pH 7,0 e levada ao banho-maria em 40°C, por 30 minutos. Em seguida as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a 5.000g. Esse extrato foi usado para a quantificação de açúcares redutores, açúcares solúveis totais e proteínas totais.

3.4.2 Açúcares solúveis totais

A avaliação de açúcares solúveis totais (AST), pelo Método da Antrona –Yemm Willis (1954). Foram adicionadas as alíquotas 0,4 mL para folha e raiz e para a bainha foi feita uma diluição de 19 vezes, usando uma alíquota de 0,1 mL dos extratos, adicionados a 0,98 mL de água destilada e 2 mL de reagente antrona. Em seguida os tubos foram agitados e levados ao banho-maria a 100°C durante 5 minutos. A quantificação foi realizada no espectrofotômetro a 620nm, baseada em uma curva padrão de glicose. Por fim foi realizado a avaliação do conteúdo de sacarose, o teor de sacarose foi obtido a partir dos valores encontrados da subtração do AST com o AR.

3.4.3 Açúcares redutores

A quantificação de açúcares redutores pelo Método do Ácido Dinitrosalicílico (DNS) – Miller (1959). É um dos métodos colorimétricos mais utilizado para quantificar os açúcares redutores usando o ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) como agente oxidante. Foi utilizado

alíquotas 0,4 mL para folha e bainha e 0,6mL para raiz, adicionando 0,35 mL e 0,15 mL de água destilada respectivamente e 0,5 mL do reagente DNS, as amostras foram agitadas e levadas ao banho-maria durante 5 minutos a 100°C. As análises foram feitas a partir de uma curva padrão de glicose no espectrofotômetro a 595 nm.

3.4.4 Amido

Foi ressuspendido o pellet dos extratos brutos com 8mL do tampão acetato de potássio 200mM pH 4,8. Adicionado 2mL da solução da enzima amiloglucosidade 1mg/mL, em seguida foi incubado no banho-maria por 40°C, durante duas horas. A centrifugação foi a 5.000g por 20 min, foi completado o sobrenadante e completado com 15mL de água. A avaliação de amido, ocorreu pelo Método da Antrona – Yemm Willis (1954).

3.4.5 Proteína

As proteínas totais foram quantificadas pelo método de Bradford, sendo uma atividade de baixo custo de reagentes, é utilizada para detectar somente moléculas de proteínas com 8-9 ligações peptídicas (Bradford, 1976). Foi retirado uma alíquota de 0,6 uL para folha e bainha e 0,1 uL de raiz e foi adicionado 0,3 mL de Comassie Blue G-250. A análise foi baseada em uma curva padrão e a leitura foi feita no espectrofotômetro a 595nm.

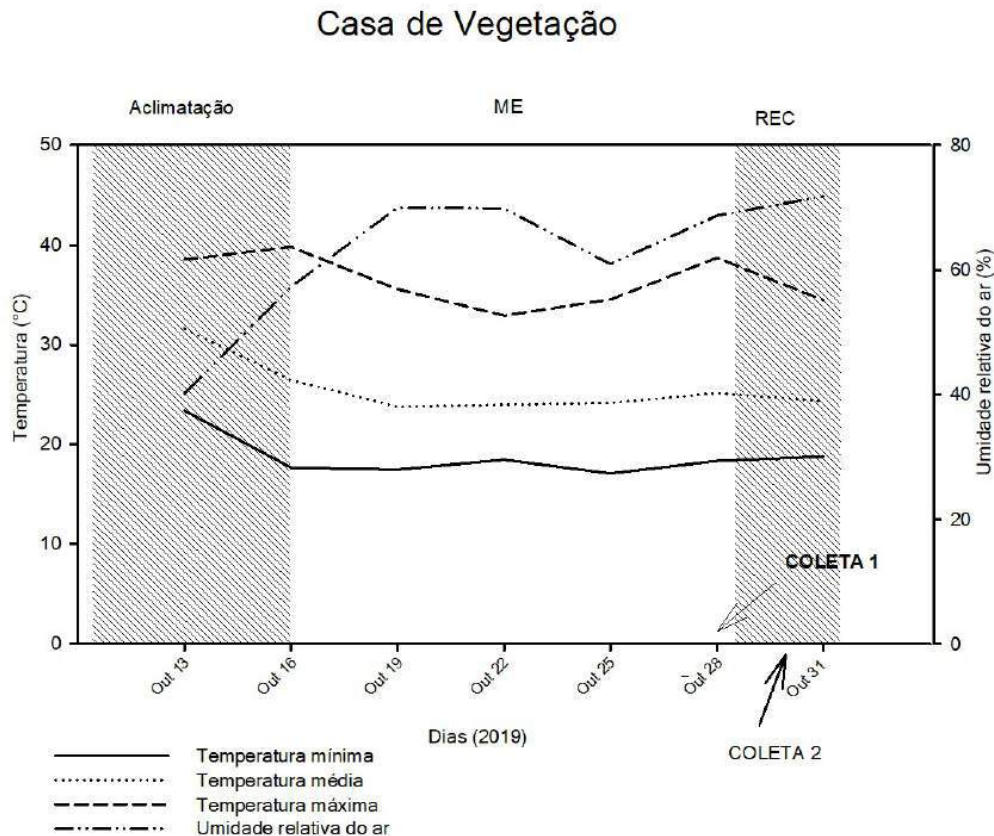
3.5 Delineamento experimental e análises de resultados

O delineamento experimental usado foi inteiramente causalizado em arranjo fatorial 2x2, sendo o primeiro fator a variedade com dois níveis (RB855536, RB867515) e o segundo fator a condição hídrica também com dois níveis (irrigada e déficit hídrico), em cada coleta se tinham plantas controle. Considerando 4 repetições para um total de 19 plantas por coleta. A significância (testes F) dos efeitos principais e interações entre os fatores de tratamento foi avaliado pela análise de variância (ANOVA). Os pares de médias foram avaliados e separados pelo erro padrão da diferença entre as médias (SED) e o teste de diferença mínima significativa protegida de Fisher (LSD) em $p < 0,05$, usando o programa estatístico R Studio.

4 RESULTADOS

Na casa de vegetação, a temperatura média (T) durante o experimento variou de 23 a 31°C e a Umidade Relativa do Ar (URA) obteve variação entre 40 a 71% (FIGURA 4.1).

Figura 4.1 – Representação da Temperatura e Umidade Relativa do Ar em casa de vegetação, durante a execução do experimento.



4.1 Análise de variáveis biométricas

Durante o Máximo Estresse (ME) a variedade RB855536 apresentou maior matéria seca foliar (MSF) ($4,25 \pm 0,24$ g) que as plantas da variedade RB867515. A condição hídrica não alterou essa variável para as variedades (TABELA 1). Após a Recuperação (REC), foi observado que o material RB867515 teve maior acúmulo de MSF ($3,79 \pm 0,39$ g) e a variedade RB855536 apresentou a menor MSF ($2,76 \pm 0,28$ g). Notou-se também, que as plantas irrigadas tiveram a maior MSF (TABELA2). No acúmulo de matéria seca no colmo (MSC), as plantas irrigadas apresentaram maiores valores quando comparadas com as plantas sob seca tanto no ME como na REC (TABELAS 4.1 e 4.2). Já a variedade como fator isolado, foi determinante nesta variável, porém, só durante o ME. Sendo que o material RB855536 apresentou maior peso seco neste órgão do que a variedade RB867515 ($2,89 \pm 0,22$ e $2,32 \pm 0,26$, respetivamente),

não foi observada interação entre variedade e condição hídrica (TABELA 4.1). Durante a REC, os fatores regime hídrico e variedade apresentaram diferenças significativas para matéria seca da raiz (MSR). Já no ME, o regime hídrico foi determinante no acúmulo de MSR (TABELAS 1 e 2). A quantidade de biomassa total (BT) foi afetada só pela variedade na REC, sendo que plantas do material RB867515 mostraram maior acúmulo ($10,64 \pm 0,66$) do que plantas da variedade RB855536 ($8,66 \pm 0,54$) (TABELA 4.2).

Nos resultados de altura da planta (AP) ME houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para a condição hídrica, sendo que plantas irrigadas apresentaram um maior crescimento do que plantas sob déficit hídrico. Observou-se que plantas da variedade RB867515 apresentaram maior AP do que variedade RB855536 ($97,25 \pm 1,47$ cm e $88,38 \pm 3,62$, respectivamente). Não foi observado interação entre variedade e regime hídrico (Tabela 1). Durante o ME a condição hídrica e a variedade não interferiram na altura do colmo (AC), pois em ambas as condições as variedades RB855536 e RB867515 responderam de maneira semelhante. A AC Do material RB867515 na REC apresentaram melhor desempenho, com valores de $19,06 \pm 0,58$ cm. As plantas irrigadas, com $18,44 \pm 0,84$ cm, tiveram AC maior que as plantas que passaram pela seca (TABELA 4.2). Os fatores regime hídrico e variedade apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) isoladamente no período de REC, sendo que maiores AC foram registradas para plantas sob irrigação adequada e para plantas da variedade RB867515.

No diâmetro do colmo (DC) durante o ME, a variedade RB855536 apresentou melhor desempenho que o material RB867515, com valores de $13,9 \pm 0,57$ e $10,00$ e $10,37 \pm 0,61$, respectivamente, enquanto à condição hídrica as plantas mantidas sob irrigação apresentaram maior DC, com valor de $12,7 \pm 0,817$ (TABELA 4.1). Durante a recuperação o não foi observado diferença de DC (TABELA 4.2).

Tabela 4.1 – Crescimento e acúmulo da matéria seca de folhas, caule, raízes e total de duas variedades de cana-de-açúcar (RB855536 e RB867515) cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no máximo estresse (ME).

Observação. SED, erro padrão da diferença entre duas médias de tratamento; LSD 0,05, diferença mínima significativa em $p < 0,05$; graus residuais de liberdade = 12 para todas as variáveis. Os valores são apresentados como médias \pm erro padrão ($n = 8$ para V e CC).

Variáveis de crescimento e biomassa- ME							
Fator	Massa seca foliar (g)	Massa seca do colmo(g)	Massa seca de raiz (g)	Biomassa total (g)	Altura da planta (cm)	Altura do colmo (cm)	Diâmetro do colmo (mm)
Variedade (V)							
RB855536	4.25 \pm 0.24	2.89 \pm 0.218	6.64 \pm 0.90	13.78 \pm 1.22	88.38 \pm 3.62	17.69 \pm 0.42	13.90 \pm 0.57
RB867515	2.99 \pm 0.312	2.32 \pm 0.256	7.33 \pm 0.83	12.64 \pm 0.97	97.25 \pm 1.47	17.69 \pm 0.35	10.37 \pm 0.61
SED	0.31	0.32	---	---	3.91	---	0.78
LSD_{0.05}	0.70	0.54	---	---	6.86	---	1.66
Condição Hídrica (CC)							
Controle	3.72 \pm 0.31	2.99 \pm 0.22	7.69 \pm 0.97	14.4 \pm 1.24	96.63 \pm 2.86	17.94 \pm 0.44	12.75 \pm 0.82
Seca	3.52 \pm 0.38	2.22 \pm 0.21	6.28 \pm 0.66	12.02 \pm 0.75	89 \pm 2.95	17.44 \pm 0.27	11.51 \pm 0.96

Tabela 4.2 – Crescimento e acúmulo da matéria seca de folhas, caule, raízes e total de duas variedades de cana-de-açúcar (RB855536 e RB867515) cultivadas em duas condições hídricas e coletadas 4 dias após reidratação (REC).

Observação. SED, erro padrão da diferença entre duas médias de tratamento; LSD 0,05, diferença mínima significativa em $p < 0,05$; graus residuais de liberdade = 12 para todas as variáveis. Os valores são apresentados como médias \pm erro padrão ($n = 8$ para V e CC).

Variáveis de crescimento e biomassa- REC							
Fator	Massa seca foliar(g)	Massa seca do colmo (g)	Massa seca de raiz (g)	Biomassa total (g)	Altura da planta (cm)	Altura do colmo (cm)	Diâmetro do colmo (mm)
Variedade (V)							
RB855536	2.76 \pm 0.283	2.06 \pm 0.18	3.85 \pm 0.37	8.66 \pm 0.538	77.88 \pm 3.013	14.69 \pm 0.92	9.65 \pm 0.131
RB867515	3.79 \pm 0.394	2.42 \pm 0.14	4.43 \pm 0.465	10.64 \pm 0.659	106.88 \pm 2.035	19.06 \pm 0.584	8.98 \pm 0.346
SED	0.394	---	---	0.796	3.636	1.019	---
LSD_{0.05}	0.638	---	---	1.863	4.412	1.222856	---
Condição Hídrica (CC)							
Controle	3.8 \pm 0.33	2.44 \pm 0.136	3.52 \pm 0.352	9.76 \pm 0.735	97.13 \pm 5.168	18.44 \pm 0.842	9.58 \pm 0.296
Seca	2.75 \pm 0.257	2.03 \pm 0.172	4.76 \pm 0.361	9.54 \pm 0.707	87.63 \pm 6.913	15.31 \pm 1.115	9.05 \pm 0.248
SED	0.392	0.205	0.472	---	8.074	1.307	---
LSD_{0.05}	0.638	0.376	1.044	---	4.412	1.222	---

4.2 Análise de variáveis Fisiológicas

Durante o ME o conteúdo relativo de água (CRA), foi dependente da condição hídrica ($p < 0,0001$), desta forma plantas sob irrigação apresentaram maiores valores nesta variável do

que plantas sob seca. Igualmente a variedade como fator isolado mostrou significância ($p < 0,0002$), sendo que plantas do genótipo RB855536 apresentaram valores maiores do que plantas do genótipo RB867515 (93.35 ± 0.99 e 89.29 ± 1.32 , respectivamente) (TABELA 4.3). Não se teve interação entre variedade e condição hídrica para nenhuma das coletas, nem para fatores isolados na REC (TABELA 4.3 e 4.4).

O potencial hídrico (ψ_w) da tarde foi determinado só pela variedade ($p < 0,05$) durante o ME e durante a REC, porém, no ME a variedade que apresentou maior ψ_w foi a RB855536 (-0.53 ± 0.08), enquanto na REC foi a RB867515 (-0.39 ± 0.04), já a condição hídrica não afetou esta variável em nenhuma das coletas (Tabela 3 e 4). Para o w da manhã durante o ME o déficit hídrico promoveu uma diminuição nos valores de $-0.13 \text{Mpa} \pm 0.01$ em plantas controle para -0.19 ± 0.013 nas plantas submetidas a seca (TABELA 4.3). A variedade como fator isolado determinou o w durante o ME, sendo que o maior valor foi registrado para o material RB867515 (-0.1 ± 0.013) (TABELA 4.3). Durante a recuperação, não foram observadas diferenças estatísticas significativas para os fatores avaliados nem para a interação entre eles (TABELA 4.4).

Nas avaliações realizadas de fotossíntese (A) durante o ME observou-se que, o déficit hídrico promoveu uma queda na atividade fotossintética de 62,93%, independente da variedade (TABELA 4.3). Por sua vez na REC, notou-se taxas fotossintéticas maiores para plantas que tinham passado pelo estresse ao ser comparadas com plantas controle (21.81 ± 1.77 e 15.05 ± 1.43 , respectivamente), isso independente da variedade (TABELA 4.4).

Durante o ME as plantas irrigadas da variedade RB867515 ($0.29 \pm 0,01$), apresentaram maior área foliar (AF) que a RB855536 (0.28 ± 0.01). Para os materiais não irrigados, a variedade RB855536 (0.17 ± 0.02), também obteve a menor área foliar. Após a reidratação, não foram observadas diferenças entre os tratamentos (TABELAS 4.3 e 4.4).

Tabela 4.3 – Variáveis fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no máximo estresse (ME).

Variáveis fisiológicas- ME					
Factor	CRA	Ψ_w (Manhã)	Ψ_w (Tarde)	Fotossíntese	Area foliar
Variedade (V)					
RB855536	93.35±0.99	-0.18±0.02	-0.53±0.08	29.41±6.25	0.22±0.02
RB867515	89.29±1.32	-0.14±0.01	-0.81±0.13	24.5±1.85	0.29±0.01
SED	4.37	0.02	0.14	...	0.02
LSD_{0.05}	2.33	0.03	0.16	...	0.03
Condição Hídrica (CC)					
Controle	93.45±0.73	-0.13±0.01	-0.61±0.06	33.08±5.04	0.29±0.01
Seca	89.19±1.43	-0.19±0.01	-0.72±0.16	20.82±2.62	0.23±0.03
SED	1.504	0.018	...	5.31	0.03
LSD_{0.05}	2.33	0.032	...	7.56	0.03
Interação					
Condição hídrica (CC) x Variedade (V)		Ψ_w (Tarde)	Area foliar	Fotossíntese	
Controle-RB855536		-0.7±0.08	0.28±0.01	43.06±6.41	
Controle-RB867515		-0.53±0.09	0.29±0.01	23.1±2.92	
Seca-RB855536		-0.35±0.06	0.17±0.02	15.75±2.47	
Seca-RB867515		-1.09±0.09	0.29±0.03	25.9±2.90	
SED		0.14	0.03	6.94	
LSD_{0.05}		0.22	0.04	10.68	

Tabela 4.4 – Variáveis fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas na recuperação (REC)

Variáveis fisiológicas- REC					
Factor	CRA	Ψ_w (Manhã)	Ψ_w (Tarde)	Fotossíntese	Area foliar
Variedade (V)					
RB855536	87.68±1.25	-0.11±0.01	-0.66±0.05	18.91±1.71	0.24±0.02
RB867515	90.46±0.86	-0.11±0.01	-0.39±0.04	17.95±2.43	0.22±0.01
LSD_{0.05}	...	...	0.124	...	...
Condição Hídrica (CC)					
Controle	90.1±1.30	-0.11±0.01	-0.51±0.07	15.05±1.43	0.26±0.02
Seca	88.04±0.94	-0.11±0.01	-0.54±0.07	21.81±1.77	0.21±0.01
LSD_{0.05}	...	...	...	4.492	0.04

4.3 Análise de variáveis Bioquímicas

Durante o ME, o teor de Açúcares Solúveis Totais (AST) em folha das variedades avaliadas foi parecido dentro de cada condição hídrica. Igualmente, foi notado que independente da condição hídrica as variedades não apresentaram mudanças no conteúdo destes carboidratos para esse período (FIGURA 4.2A). Já na REC, tanto para plantas irrigadas quanto

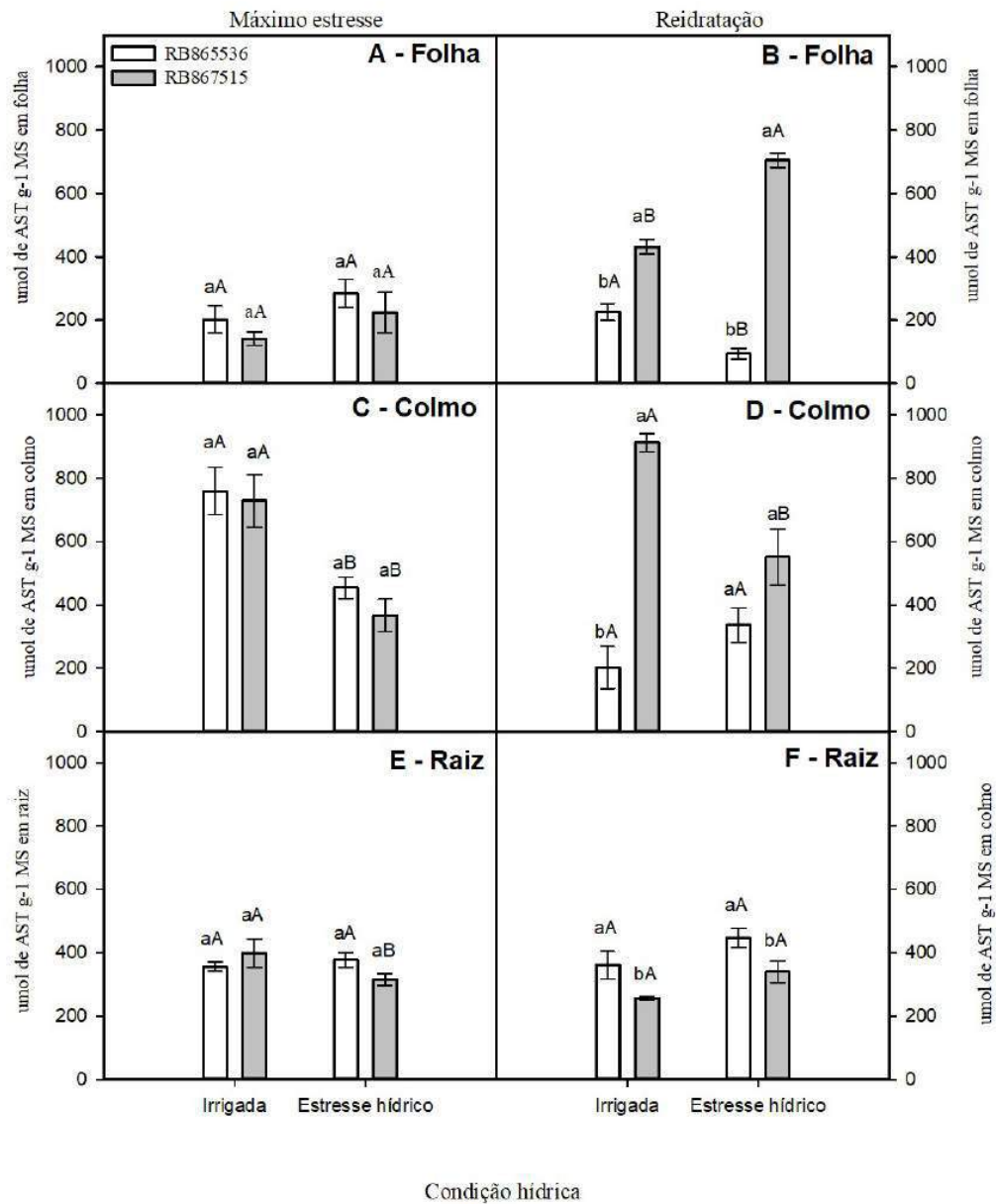
para as sob seca, a variedade RB867515 apresentou maior conteúdo de AST na folha do que a variedade RB855536. Notou-se igualmente na variedade RB867515, que as plantas que passaram pelo estresse, uma vez reidratadas, atingiram um maior acúmulo de AST do que as plantas que permaneceram o tempo todo sob irrigação adequada (704.89 ± 17.03 e 431.19 ± 26.97 , respectivamente). Por sua vez, o material RB855536 apresentou os maiores valores para esta variável em plantas sob irrigação comparadas às plantas submetidas à condição estressante (FIGURA 4.2B).

No colmo durante o ME, as plantas irrigadas das variedades RB855536 e RB867515 apresentaram conteúdos de AST semelhantes (759.06 ± 74.09 e 728 ± 82.54 , respectivamente), o mesmo foi observado para ambas as variedades em condição de seca. No entanto, as variedades irrigadas apresentaram maior acúmulo de AST que as plantas que passaram pelo estresse hídrico (FIGURA 4.2C). Durante a reidratação, as plantas da variedade RB867515 (912.4 ± 28.84) irrigadas apresentaram quantidade de AST superiores à da variedade RB855536 (202.545 ± 66.23). A seca não proporcionou diferença entre as variedades estudadas, uma vez que elas apresentaram quantidades similares desse açúcar. Notou-se que, para a variedade RB867515 o déficit hídrico acarretou quedas de quase 40% no acúmulo de AST no colmo, redução que se manteve mesmo após a reidratação das plantas (FIGURA 4.2C e 4.2D).

Nas raízes durante o ME, a variedade RB855536 e RB867515 tiveram acúmulo similares para a condição hídrica irrigada (356.135 ± 14.61 e $398.73.145 \pm 40.06$, respectivamente), o mesmo foi observado para as plantas na condição de estresse (377.44 ± 22.39 para a variedade RB855536 e 315.425 ± 18.68 para a variedade RB867515). Porém, foi observado que a variedade RB867515 apresentou uma diminuição de AST quando submetida a seca (FIGURA 4.2E).

Observando a condição irrigada no período de REC notou-se que variedade RB867515 teve um menor conteúdo de AST nas raízes que plantas da variedade RB855536, esse mesmo padrão foi notado nas variedades sob estresse hídrico; as plantas da variedade RB855536 conseguiram acumular mais AST que as da variedade RB867515 em sua raiz. A condição hídrica não afetou o conteúdo de AST na raiz para nenhuma variedade (FIGURA 4. 2E).

Figura 4.2 – Análise do teor de Açúcar Solúvel Total (AST) em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas aos tratamentos irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante o máximo estresse. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade.



Independente da variedade e da condição hídrica, o conteúdo de sacarose nas folhas durante o ME foi similar para todas as plantas, todavia, as variedades RB855536 e RB867515 se comportaram de maneira semelhante (FIGURA 4.3A).

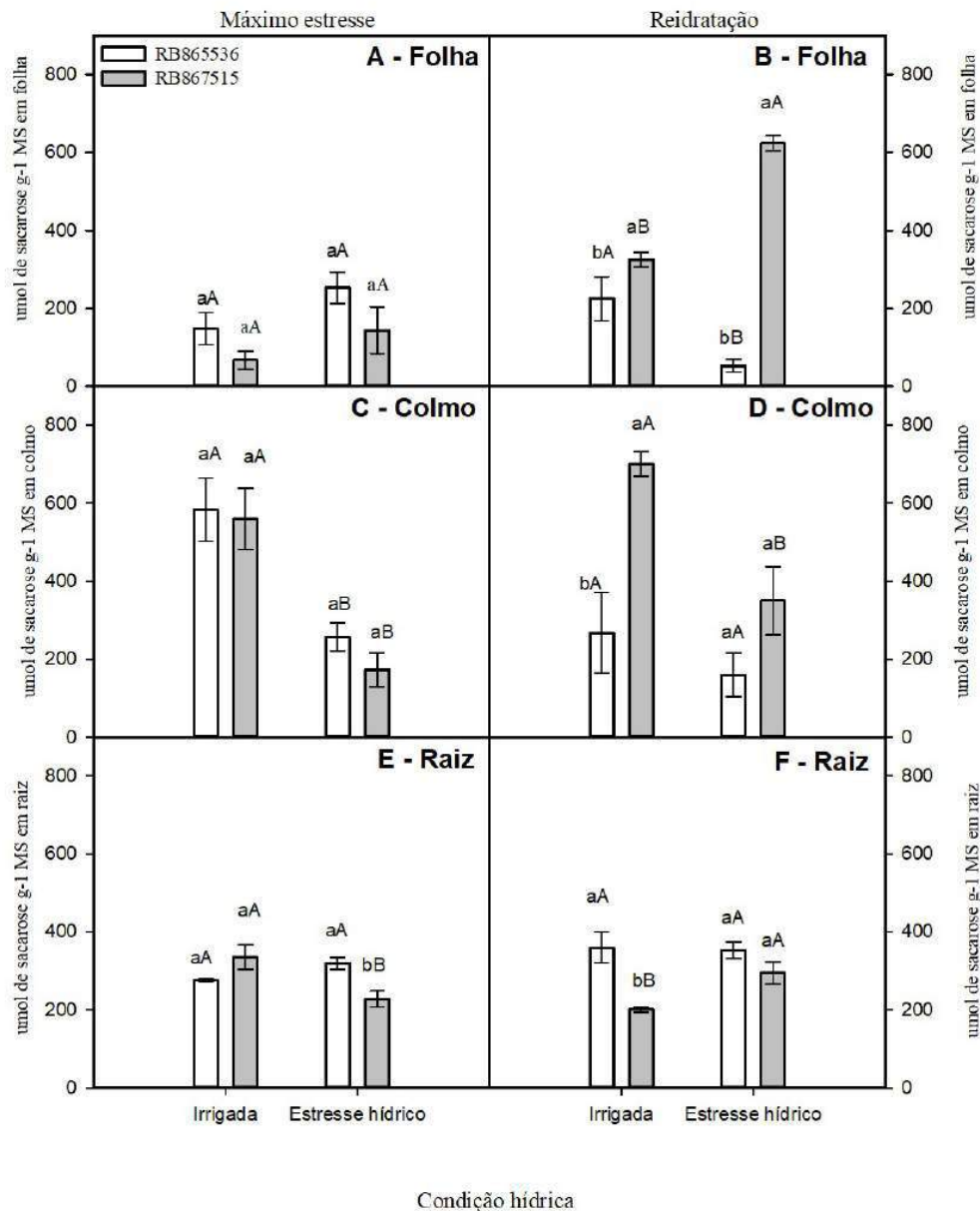
Após a reidratação as plantas irrigadas da variedade RB867515 (324.97 ± 19.34), apresentaram maior teor de sacarose nas folhas, a variedade RB855536 (225.04 ± 56) teve menores quantidades. Na condição seca, as plantas da variedade RB867515 apresentaram a maior concentração de sacarose. Em estresse hídrico, a variedade BR355536 apresentou diminuição de sacarose e variedade RB867515 acumulou esse açúcar (FIGURA 4.3B).

A variedade que apresentou melhor desempenho nas análises de AR em folha foi a RB867515 na recuperação durante o estresse hídrico. No colmo, foi observado que durante o ME as plantas irrigadas e em seca das variedades RB855536 e RB867515 apresentam respostas semelhantes nas concentrações de sacarose neste órgão. As variedades RB867515 e RB855536 apresentam maior acúmulo de sacarose quando estão irrigadas (559.24 ± 78.82 e 582.42 ± 81.04 , respectivamente) e quando estão sob estresse hídrico, apresentam menores teores de sacarose (172.72 ± 43.45 e $257.39g \pm 35.58$, respectivamente) (FIGURA 4.3C).

Na REC, em condição irrigada, a variedade RB867515 (699.35 ± 31.47) teve maior quantidade de sacarose que a variedade RB855536 (267.2125 ± 102.72). Já para a condição seca, as plantas de ambas as variedades apresentaram teores similares de sacarose no colmo (FIGURA 4.3D). A variedade RB867515 irrigada, após a reidratação apresentou maior teor desse açúcar, acumulando a maior quantidade de sacarose no colmo. Em raiz, as plantas das variedades RB855536 e RB867515 apresentaram comportamento parecidos quando irrigadas. Já sob déficit hídrico, a variedade RB855536 (319.20 ± 15.45) teve maior acúmulo de sacarose que a variedade RB867515 (227.49 ± 21.21).

A variedade RB855536 apresentou valores de sacarose semelhantes durante a condição irrigada e na condição de seca; já a variedade RB867515, quando estava na condição de déficit hídrico, teve uma queda de (335.03 ± 31.11 para 227.49 ± 21.21) (FIGURA 4.3E). Quando reidratadas, foi observado que a variedade RB855536 irrigada apresentou maior quantidade que as plantas da variedade RB867515, e durante o déficit hídrico, as variedades apresentaram teores de sacarose similares. A variedade RB855536 irrigada e em estresse hídrico apresentou teores de sacarose parecidos, e na variedade RB867515, nota-se que em estresse hídrico as plantas apresentaram maior quantidade de sacarose nas raízes que as plantas irrigadas (FIGURA 4.3F).

Figura 4.3 – Análise do teor de sacarose em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas ao tratamento irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante a recuperação. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade.

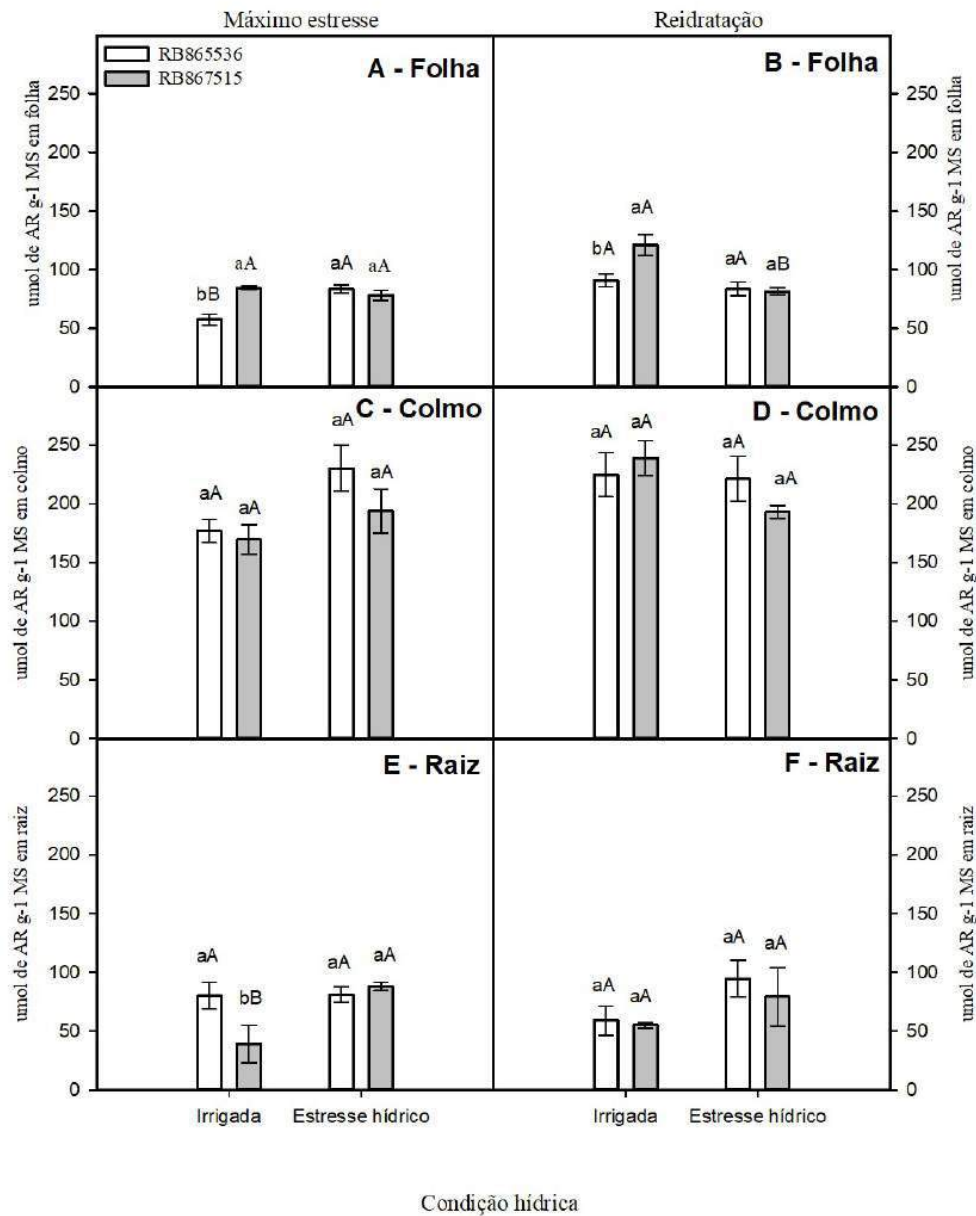


Nas análises realizadas para Açúcares Redutores (AR) durante o ME, foi observado que para as plantas irrigadas a variedade RB867515 apresentou maiores quantidades de AR (84.55 ± 1.45) que a variedade RB855536 (57.55 ± 4.54). Na condição de seca, as plantas responderam de maneira semelhante. O material RB855536 irrigada apresentou menor quantidade de AR nas folhas (FIGURA 4.4A).

Na REC na condição irrigada, a variedade RB867515 (120 ± 9.12) apresentou melhor teor de AR em folha que a variedade RB855536 (90.95 ± 5.44); na condição de seca, as variedades acumularam quantidades semelhantes de AR. A variedade RB867515, em estresse hídrico teve a menor quantidade de AR que quando irrigada (FIGURA 4.4B).

Observou-se que variedade RB867515 irrigada após a REC teve os maiores valores de AR entre as duas coletas. No colmo durante o ME e a REC, as plantas irrigadas e em estresse hídrico apresentaram quantidades similares para acúmulo de AR (FIGURA 4.4C e 4.4D). Tanto a condição hídrica como a variedade não interferiram nos teores de AR para o colmo. Em condição irrigada durante o ME, a variedade RB855536 (79.98 ± 11.34) apresentou maiores quantidades AR nas raízes que a variedade RB867515 (39.17 ± 16.02). Em condição de seca, ambas variedades tiveram acúmulo de AR semelhantes. A variedade RB855536 apresentou comportamento similar em condição de irrigada e em seca. A variedade RB867515, em estresse hídrico, teve maiores teores de AR nas raízes que quando irrigada (FIGURA 4.4E). Na REC, as variedades RB855536 e RB867515 não sofreram interferência com a condição hídrica na qual foram expostas, pois, independentes se irrigadas ou não, elas apresentaram a mesma quantidade de AR nas raízes. O tipo de variedade também não foi importante no acúmulo de AR, já que também apresentaram comportamento parecido (FIGURA 4.4F).

Figura 4.4 – Análise do teor de Açúcar Redutor (AR) em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas aos tratamentos irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante o máximo estresse. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade.



A variedade RB867515 apresentou maior acúmulo de amido nas folhas (25.29 ± 1.46) e a RB855536 o menor acúmulo (15.78 ± 1.00) quando estavam na condição irrigada, e em condição de seca, a variedade RB85536 teve o maior teor de amido (22.31 ± 1.82) quando comparado à variedade RB867515 (16.57 ± 1.82) durante o ME. A variedade RB867515 teve maior acúmulo de amido (25.29 ± 1.46) na condição irrigado, e em condição de seca ela apresentou diminuição desse amido (16.57 ± 1.82) e, para a RB85536, notou-se que durante a seca (22.31 ± 1.82) ela conseguiu aumentar o amido nas folhas que quando estava sendo irrigada (15.78 ± 1.00) (FIGURA 4.5A). A variedade RB867515 apresentou maior acúmulo de amido nas folhas (25.29 ± 1.46) e a RB855536 o menor acúmulo (15.78 ± 1.00) quando estavam na

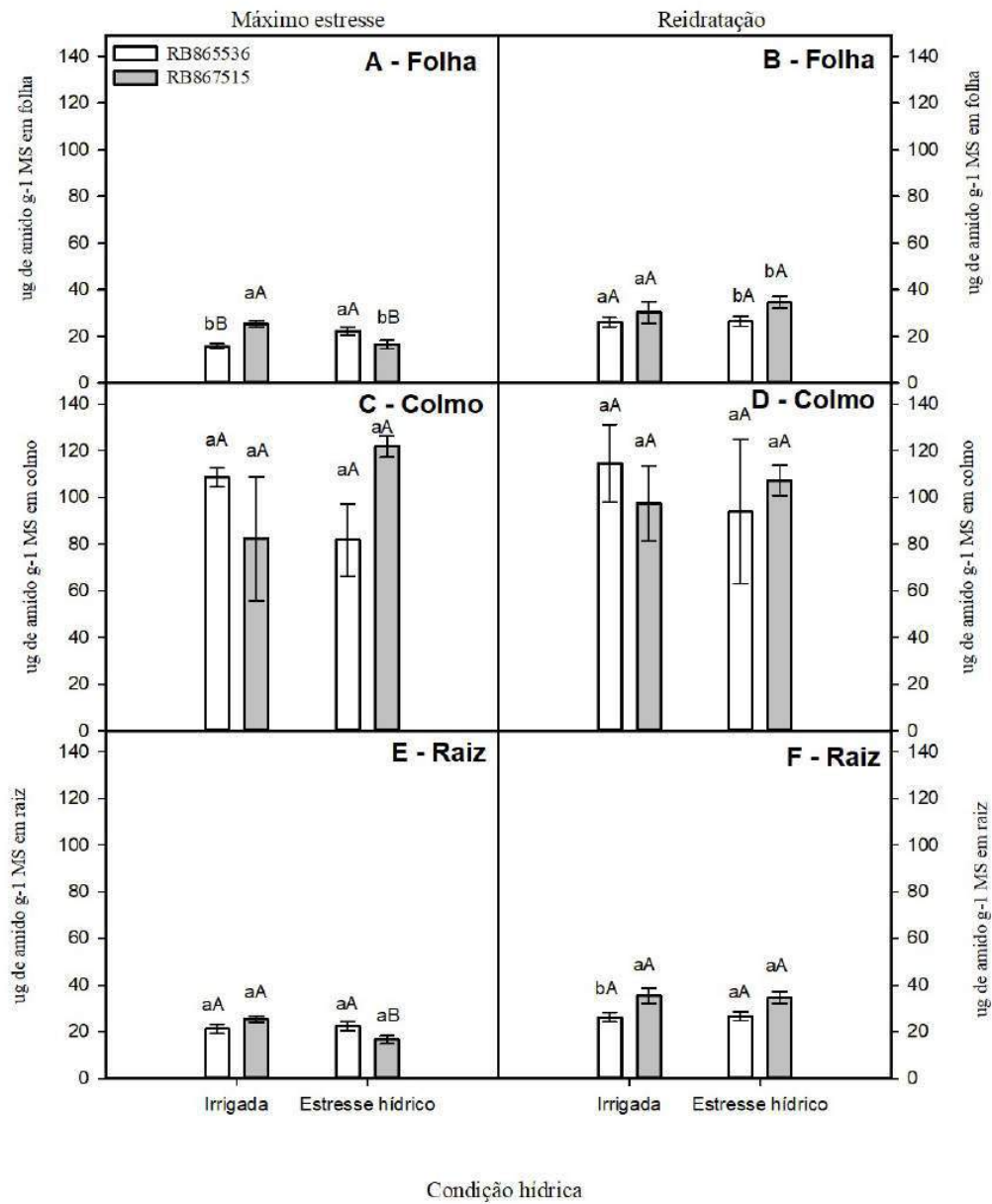
condição irrigada, e em condição de seca, a variedade RB85536 teve o maior teor de amido (22.31 ± 1.82) quando comparado à variedade RB867515 (16.57 ± 1.82) durante o ME. A variedade RB867515 teve maior acúmulo de amido (25.29 ± 1.46) na condição irrigado, e em condição de seca ela apresentou diminuição desse amido (16.57 ± 1.82) e, para a RB85536, notou-se que durante a seca (22.31 ± 1.82) ela conseguiu aumentar o amido nas folhas que quando estava sendo irrigada (15.78 ± 1.00) (FIGURA 4.5A).

Quando reidratadas, as variedades RB85536 e RB867515 irrigadas apresentaram teores de amido em folha semelhante e em estresse hídrico o mesmo foi observado. As condições irrigadas e seca para as variedades não tiveram influência na quantidade de amido produzido (FIGURA 4.5B).

Para o colmo durante o ME e a REC, a condição hídrica e o tipo de variedade não influenciaram no conteúdo de amido, pois, em ambos os tratamentos, a quantidade de amido foi semelhante (FIGURA 4.5C e 4.5D). Para a condição irrigada e em seca durante o ME, observou-se que as variedades apresentaram quantidades semelhantes de amido em raiz. O amido contido na variedade RB867515 durante a condição irrigada (25.295 ± 1.4) diminuiu quando a planta estava em estresse hídrico (16.57 ± 1.82), e a variedade RB85536 se comportou de maneira semelhante em ambas as condições hídricas (FIGURA 4.5E).

A variedade RB867515 irrigada (35.22 ± 3.28) durante o REC teve maiores concentrações que a RB85536 (26.155 ± 2.07) para amido em raiz; em condição de seca, as variedades apresentaram teor de amido semelhante. A quantidade de amido na raiz para as variedades RB85536 e RB867515 não foram alteradas pela condição hídrica, pois, quanto irrigadas como em estresse hídrico as médias não foram afetadas (FIGURA 4.5F).

Figura 4.5 – Análise do teor de amido em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB85536 e RB867515 submetidas ao tratamento irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a reidratação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a reidratação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante a reidratação. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade.



As plantas irrigadas durante o ME a variedade RB855536 apresentaram maior quantidade de proteína em folha (1142.65-10.46) que a variedade RB867515, a qual apresentou valores de (727.14 ±37.21), para a condição de seca. A variedade RB867515 mostrou acúmulo maior de proteínas (1066.11±31.08) que a variedade RB855536 (828.28 ±36.36). Foi observado que na RB855536 durante o estresse hídrico, a variedade teve menores quantidades de proteínas, e a variedade RB867515 teve maiores quantidades de proteínas sob seca do que quando estava sendo irrigada (FIGURA 4.6A).

Na REC, as plantas irrigadas de ambas as variedades produziram quantidades de proteína semelhantes; em condição de seca, a variedade RB855536 (1566.36±73.53) apresentou mais proteína que a variedade RB867515 (1121.93±24.60). A variedade RB855536 conseguiu

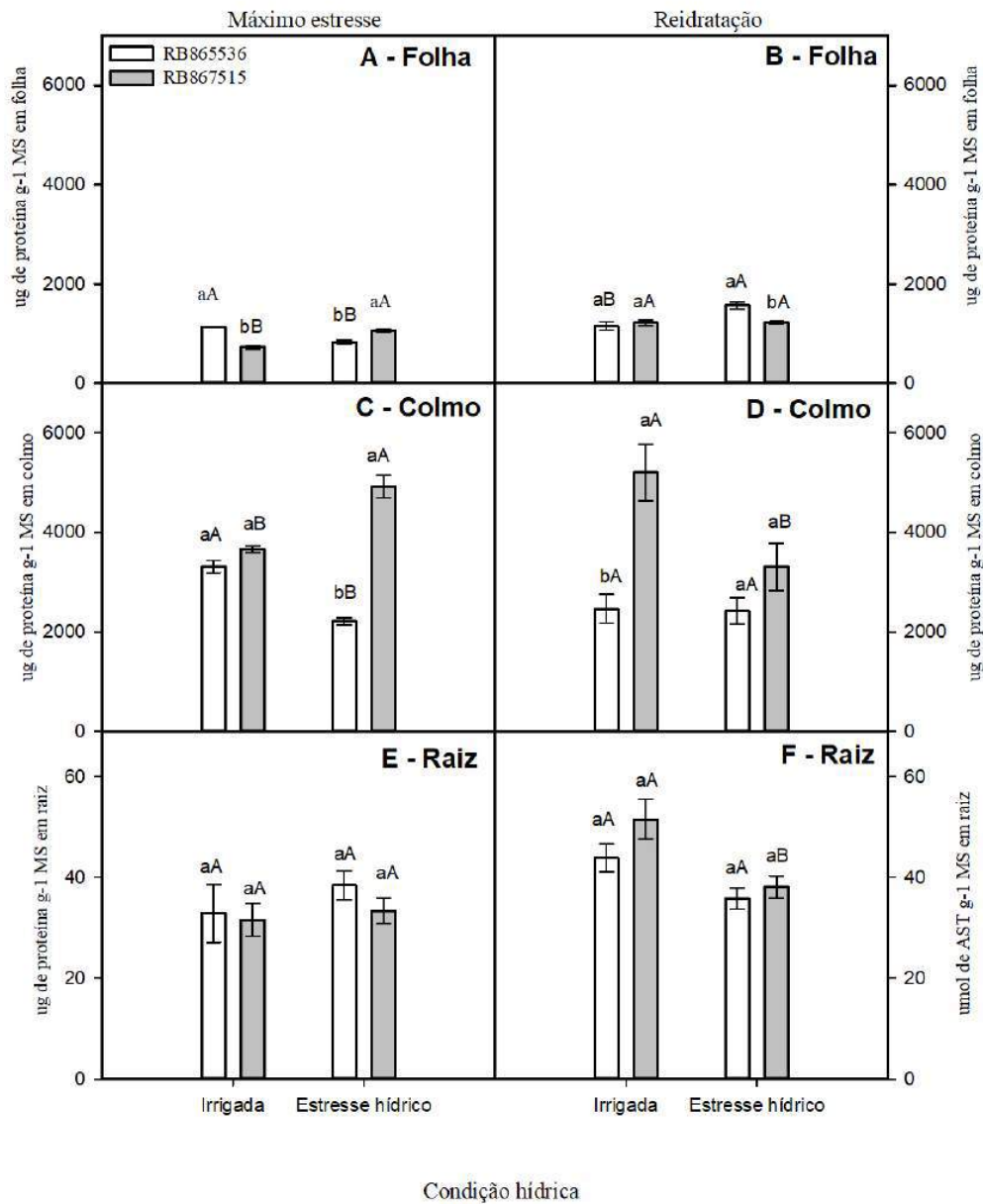
ter mais proteína foliar em plantas que passaram pela seca e logo foram reidratadas que plantas que permaneceram o tempo todo sob irrigação adequada, e a variedade RB867515 permaneceu igual em ambas as condições hídricas (FIGURA 4. 6B).

Em condição hidratada, as duas variedades no ME tiveram valores parecidos para proteína no colmo; já a as plantas sob seca, a variedade que conseguiu o maior acúmulo de proteínas foi a RB867515. Quando irrigadas, a variedade RB855536 (3307.68 ± 122.22) teve maior produção de proteínas que quando estava em estresse hídrico, e na variedade RB867515 observou-se maior acúmulo e proteína em seu colmo durante a condição seca (4920.523 ± 223.19) e menor acúmulo na condição irrigada (3663.05 ± 70.58) (FIGURA 4.6C).

Durante a reidratação, a variedade RB867515 (5207.55 ± 561.72) conseguiu acumular mais proteína no colmo que as plantas da variedade RB855536 (2460.26 ± 291.87); quando irrigadas e durante a seca, as variedades apresentaram quantidades de proteína semelhantes. Quando a variedade RB867515 (5204.55 ± 561.72) estava bem hidratada, conseguiu acumular mais proteína que quando estava na condição de seca (3307.682 ± 472.68). Para a RB855536 a condição hídrica não fez diferença para o seu conteúdo de proteína em colmo (FIGURA 4.6D).

Nas análises realizadas para proteína em colmo, foi observado que a variedade RB867515 apresentou os maiores teores durante o máximo estresse quando estavam em condição de seca e quando irrigada após a recuperação. No ME, tanto a condição hídrica como a variedade não interferiram na quantidade de proteína encontrada na raiz, portanto, as variedades estudadas acumularam valores semelhantes (FIGURA 4.6E). Após a recuperação as plantas irrigadas e em estresse hídrico apresentaram teores parecidos de proteína na raiz. A variedade RB855536 não apresentou alteração no teor quando irrigada e quando em seca; já a variedade RB867515, durante a restrição hídrica, teve uma diminuição quando comparado quando estava irrigada (FIGURA 4.6F). A variedade RB867515 teve maior quantidade de proteína em raiz após a reidratação quando estava sendo irrigada.

Figura 4.6 – Análise do teor de proteína em plantas de cana-de-açúcar das variedades RB855536 e RB867515 submetidas ao tratamento irrigada e estresse hídrico em (A) folhas durante o máximo estresse, (B) folhas durante a recuperação, (C) colmo durante o máximo estresse, (D) colmo durante a recuperação, (E) raiz durante o máximo estresse e (F) raiz durante a recuperação. As barras de erro nos histogramas indicam o erro, as letras minúsculas comparam as variedades dentro da mesma condição hídrica e as letras maiúsculas comparam a condição hídrica dentro de cada variedade.



5 DISCUSSÃO

A cana-de-açúcar é uma planta com metabolismo C4, isso ajuda com que ela se desenvolva melhor em regiões de clima tropical como o Brasil; porém, para atingir seu potencial produtivo é preciso uma disponibilidade de água ao longo de seu ciclo (ENDRES et al., 2010). Devido à alta demanda hídrica desta cultura, períodos de déficit hídrico acarretam diminuição tanto no crescimento quanto no acúmulo de biomassa, alterações fisiológicas e bioquímicas que resultam em variações nas atividades celulares e metabólicas da planta.

Neste sentido, este estudo evidenciou esse comportamento, uma vez que plantas sob seca apresentaram diminuição na altura da planta, menor acúmulo de biomassa no colmo, massa seca de raiz, massa seca foliar e biomassa total (TABELA 1 e 2). Alguns autores como Lobell et al., (2011), Rampino et al., (2006), Machado et al., (2009), indicam que esse tipo de respostas já tem sido amplamente reportado sendo esperado quando se apresenta um evento de seca. Porém, existem outros fatores que influenciam a variação nas respostas da planta em condições de seca, dentre eles podem ser citados o genótipo e períodos de aclimação.

A variação nas respostas para essa condição abiótica pode estar condicionada ao genótipo, sabe-se que existem materiais tolerantes e sensíveis à seca. As variedades tolerantes tentam manter as suas funções fisiológicas em equilíbrio durante o período de deficiência hídrica interna mesmo com potencial hídrico reduzido (DENADAI KLAR 1995); as plantas tolerantes, possuem a capacidade de reduzir o seu metabolismo para economizar energia em resposta à seca, suportando um período mais longo de falta de água do que as plantas sensíveis (SOUZA LUTTGE, 2015). No entanto, foi observado que as variedades RB855536 e RB867515 foram afetadas, apresentando as mesmas alterações.

Portanto, o genótipo não promoveu melhor desempenho durante o estresse hídrico para as variáveis de biometria analisadas. Também foi observado que após a reidratação o crescimento e o acúmulo de massa de ambos os materiais foram afetados, pois as plantas que passaram pela seca obtiveram acúmulos menores de biomassa e queda no crescimento. Contudo, foi observado em um experimento realizado por SILVERIO (2016), que as variedades tolerantes em condição de seca apresentaram as melhores respostas que as plantas de materiais tolerantes, pois elas obtiveram as menores reduções em volume de raiz e a variedade sensível às menores perdas em volume de raiz

O metabolismo de carbono das folhas corresponde às necessidades de energia e crescimento dos tecidos dreno, a quantidade abundante de açúcares nas folhas auxilia no crescimento da planta e armazenamento de carboidratos em órgãos de reserva (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017). A maior produtividade das plantas tolerantes à seca está relacionada ao maior número de folhas, peso, números de colmos e altura da planta SILVA et al (2008). Portanto, pode-se dizer que durante as avaliações de crescimento a variedade RB867515, apresentou a maior massa seca de colmo, independente da condição hídrica. Dessa maneira, este material apresenta características melhores de crescimento que as da variedade RB855536, tais características podem ser mais vantajosas durante a seca, porém isso não foi observado no experimento (TABELA 4.1 e 4.2).

Independente da variedade, as plantas em condição de seca apresentaram a maior biomassa de raiz. Sabe-se que as características da raiz também são indicadores de aclimatização à seca, pois as raízes mais profundas e com maior sistema radicular proporcionam maior extração de água em ambientes com limitação hídrica (SONGSRI et al., 2008 ;WANG et al., 2009; SMITH et al., 2005; TARDIEU et al., 1992; BLUM, 2005; TARDIEU, 2012) (TABELA 4.1 e 4.2).

Como foi visto durante o ME, as variedades em condição de seca apresentaram menor conteúdo relativo de água (CRA) e diminuição na fotossíntese, portanto, a disponibilidade hídrica é um dos fatores mais limitantes para a fotossíntese (LANCHER, 1995). Logicamente, para tentar controlar a perda de água pelos estômatos, a planta regula a abertura estomática das folhas se fechando parcialmente ou totalmente, reduzindo a perda de água na forma de vapor, controlando a respiração estomática, que é negativa para o balanço hídrico (PRADO e CASALI, 2006) (TABELA 4.3 e 4.4).

O fechamento estomático causa limitações de tipo difusivo na planta, pois com isso se tem a diminuição das trocas gasosas de CO₂, causando diminuição da produtividade primária principalmente em temporadas de seca (PRADO e CASALI, 2006); o que sugere que pode ter acontecido com as plantas das variedades RB867515 e RB855536, que apresentaram uma diminuição da fotossíntese durante o ME quando não irrigadas. Sendo assim, esse resultado difere do que foi observado por SILVA et. al (2012) para a variedade RB867515 sob seca, eles mostraram que este material descrito como tolerante apresentou menores reduções no desempenho fotossintético quando submetidos a restrição hídrica não severa.

As plantas da variedade RB855536 durante a restrição hídrica apresentaram a menor área foliar, ou seja, menor concentração de área verde. Assim, seu desempenho é mais limitado em condição de seca. Plantas em estresse hídrico apresentam redução no acúmulo de biomassa, área foliar, fixação de carbono com a diminuição desses parâmetros, a produtividade de açúcares decai (BLUM, 2005; TARDIEU, 2012; COMINELLI et al., 2013).

Como dito anteriormente, as plantas usam diversas estratégias para passar pelo período de restrição hídrica, dessa maneira elas conseguem completar o seu ciclo de vida antes que a seca lhes cause a morte (KOOYERS 2015). Para isso ocorrerá a diminuição da fotossíntese, e inicialmente a planta usará as suas reservas de carbono para tentar manter as suas funções; uma das reservas usadas pode ser o amido, que é estocado em grande quantidade nas células das plantas (PRADO e CASALI, 2006). A fim de observar mais profundamente quais foram as estratégias de sobrevivência dos materiais estudados, foi feita a análise do metabolismo de carboidratos nas plantas.

Ao observar os resultados de metabolismo de carboidratos, percebe-se que as plantas não irrigadas da variedade RB855536 durante o ME apresentaram concentrações

maiores de AST nas folhas e no colmo; no entanto, após a reidratação, houve uma diminuição desses teores. Não foi observado diferença na quantidade AR nos tecidos das plantas após a reidratação, somente a sacarose em folha apresentou alteração, com diminuição em seus teores. Na variedade RB867515, as plantas em estresse hídrico após a reidratação tiveram aumento de AST nas folhas, colmo e raiz. Para os AR não foi observado diferença entre o ME e a REC, porém, para sacarose houve aumento nos teores desses açúcares após a reidratação (FIGURAS 4.2B, D, F; 4.2B, D, F; 4.4B, D e F).

Parte dos açúcares na folha podem ter sido transcolados para o colmo e raiz, no material RB867515, já que a maior produção acontece na folha, pois a produção da sacarose junto ao carregamento e a translocação no floema faz com que a planta tenha um fornecimento adequado de carboidratos para o seu desenvolvimento. Além disso, participa do status de carbono e energia dos tecidos, ocorrendo a distribuição dos produtos da assimilação fotossintética de CO₂ (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017).

Em folhas, a sacarose é sintetizada no citosol podendo ser transportada para o vacúolo (MARENCO e LOPES, 2013), pois sabe-se que os carboidratos transcolados são geralmente os açúcares não redutores, eles são os principais compostos transcolados pelo floema por serem menos reativos que os açúcares redutores (TAIZ, L.; ZEIGER. 2017).

A variedade RB855536 apresentou aumento nos conteúdos de proteína em folhas após a reidratação em plantão não irrigadas, nos tecidos de colmo e raiz os teores de proteína permaneceram semelhantes. Nas folhas da variedade RB867515 houve aumento de proteína e diminuição no colmo, ambos após a reidratação em plantas não irrigadas (FIGURAS 4.6B, D e F).

Em folhas e em raízes, foi notado um aumento de amido no material RB855536 após a reidratação em plantas em condição de seca. Na variedade RB867515 também foi observado aumento nos teores de amido nos tecidos de folha e raiz nas plantas em restrição hídrica após a reidratação. (FIGURAS 5B e F). O mesmo foi observado por HUBER et al. (1984), em plantas de soja, em sua pesquisa houve uma diminuição de amido e sacarose em condição de estresse e após a reidratação esses teores aumentaram. O acúmulo de amido após a reidratação é um indicador que a planta está se preparando para um evento de seca posterior, ele pode ser quebrado em AR na folha para que a planta consiga se proteger da seca. O amido, então, é um polissacarídeo de reserva principalmente, formados por unidades de glicose, sendo um dos principais substratos metabólicos, porém não é o único (MARENCO e LOPES, 2013).

A sacarose e o amido são os principais produtos finais da fotossíntese, (VILELA, 2011), e o seu aumento nos tecidos da folha são indicativos de que a variedade RB867515 conseguiu retomar a produção de fotossíntese de uma forma melhor que a RB855536.

Além disso, o aumento da concentração de sacarose é um indicativo de que ele está sendo remobilizado pela planta para outras partes; já que por ser fundamental para o metabolismo da planta, como um dos principais produtos da fotossíntese e por representar uma parte significativa do CO₂ fixado, é a forma mais importante de translocação de carbono em grande parte das plantas, sendo a principal fonte de açúcar de reserva (MARENCO e LOPES, 2013).

Ademais, o amido que é acumulado é usado como fonte de reserva temporária na forma de carbono sendo considerado como o principal componente do acúmulo nas folhas maduras em peso seco, enquanto a sacarose é o meio de transporte que forma carboidrato disponível para exportação (HUBER et al. 1984) nos drenos para sustentar o gasto energético realizado durante a respiração foliar (SINGH MALHOTRA, 2000).

6 CONCLUSÃO

A variedade RB867515 apresentou aumento nas concentrações de AST, com um maior acúmulo para a sacarose. O maior investimento em sacarose é um indicativo que a planta está retomando o crescimento após o evento de seca e se preparando para um possível novo momento de estresse hídrico.

Maiores teores de sacarose são indicativos de que a planta conseguiu se recuperar mais rápido do estresse hídrico que a variedade RB855536 e seu aumento contribuiu para que esses açúcares sejam translocados para outras partes da planta, como a raiz, por exemplo.

Ambas as variedades em condição de seca, apresentaram aumento no teor de amido após a reidratação. No entanto a variedade RB867515 apresentou maiores teores de amido que a variedade RB855536, indicando que ela apresenta melhor recuperação à seca.

REFERENCIAS

ARENQUE, B. C – Metabolismo de carboidratos da espécie amazônica *Senna reticulata* sob cultivo em alto CO₂, disponível em https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-30092010_1758/publico/Bruna_Arenque2010.pdf

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J.M. Regulation of root water uptake under

abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, vol. 63, p. 43-57, 2011.

BASNAYAKE, J.; JACKSON, P.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; LAKSHMANAN, P. Sugarcane for water-limited environments. Genetic variation in cane yield and sugar content in response to water stress. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 63, p. 6023-6033, 2012.

BLUM, A. (2005). Resistência à seca, eficiência no uso de água e potencial de rendimento - eles são compatíveis dissonantes ou mutuamente exclusivos? *Crop Pasture Sci.* 56, 1159–1168. 10.1071 / AR05069

BRITO, L. K. F. L. et al. Alterações no perfil de frações nitrogenadas em calos de cana-de-açúcar induzidas por déficit hídrico. *Pesq. agropec. bras.*0[online]. 2008, vol.43, n.6, pp.683-690.

CONAB. CAMPANHA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim de levantamento de safra de cana-de-açúcar V.7 – SAFRA 2020/21 N.3 – Terceiro levantamento – Dezembro de 2020. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>> acessado em 19 de março de 2021.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; GROSSI-DE-SÁ, M. F.; GUZZO, E. C.; et al. *Sugarcane (Saccharum X officinarum)*: a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. *Tropical Plant Biology*, New York, v. 4, p. 62-89, 2011

DENADAI, I.A.M.; KLAR, A.E. RESISTÊNCIA À SECA EM QUATRO CULTIVARES DE TRIGO: PARÂMETROS FISIOLÓGICOS. *Sci. Agric.*, Piracicaba, 52(2):274-281, mai./ago. 1995 ENDRES, L. et al. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal*, v.4, p.31-37, 2010.

FERNANDA, C. C.; NEIDIQUELE, M.; PAULO, E. R.; EDUARDO, C.; GUSTAVO, M.; MARCOS, G. A.; RAFAEL, V. Drought tolerance of sugarcane propagules is improved When origin material faces water deficit

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

HUBER, S. C. Et al. Effects of water stress on photosynthesis and carbon partitioning in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) plants grown in the field at different CO₂ levels. *Plant Physiology*, v.76, p.244-249, 1984.

KIM, J. Y e GLEMM, D.M. MEANSUREMENT of photosynthetic response to plant water stress using a Multi-Modal Sensing System. Vol. 58(2) 233-240.

KOOYERS, N. J. (2015). A evolução da fuga e prevenção da seca em populações herbáceas naturais. *Plant Science* 234, 155–162. 10.1016 / j.plantsci.2015.02.012

MARENCO R. A; LOPES. *Fisiologia Vegetal* 3º edição – Editora UFV, 2009.

MITCHELL C. A. *Measurement of Photosynthetic Gas Exchange in Controlled Environments enter for Plant Environmental Stress Physiology, Department of Horticulture, Purdue University, West Lafayette, IN 47907*

MIWA, A. C; C., FALCO B. P, CALIJURI M. C. Avaliação de métodos espectrofotométricos para determinação de proteína em amostras de lagoas de estabilização - Eng. sanit. Ambient. Vol.13 - No 2 - abr/jun 2008, 236-242 disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n2/a14v13n2.pdf>>, acessado em 17 de fevereiro de 2020.

MULLET, J. E.; WHITSITT, M.S. Plant cellular responses to water deficit. *Plant Growth Regulation*, v.20, p.119-127, 1996.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, Chichester, v.25 n. 2 p. 239 -250, 2002.

PARRY, M. A.; HAWKESFORD, M. J. Food security: increasing yield and improving resource use efficiency. *Proceedings of the Nutrition Society*, Cambridge, v. 69, p. 592-600, 2010.

PIMENTA, S. G.; LIMA, M. S. L. Estágio e docência: diferentes concepções. *Revista Poésis* -Volume 3, Números 3 e 4, pp.5-24, 2005/2006.

RIBEIRO, R. V. Avaliação da atividade fotossintética por meio de medidas de trocas gasosas, evolução de oxigênio e fluorescência da clorofila. In Prado, CHBA; Casali, CA. *Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral*. Barueri, editora Manole, 2006.

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.

SANTOS, A. A e colaboradores Dosagem de açúcares redutores com o reativo DNS em microplaca Microwell plate-based method for the determination of reducing sugars with the DNS reagente

SANTOS D. N.; NUNES C. F. Análise bioquímica de calos de pinhão-manso Biochemical analysis of callus from physic nut *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.11, p.2268-2273, nov, 2010 ISSN 0103-8478

SATO, P. M. Regulação do acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar e análise funcional de uma proteína quinase relacionada com o conteúdo de sacarose. 2012. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
doi:10.11606/T.46.2012.tde-20052013-103526.

SILVA, M. D. A.; GONÇALVES, S. J. A.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. (2008). Componentes da produtividade como indicadores da tolerância à seca da cana-de-açúcar . *Sci. Agric.* 65, 620-627. 10.1590 / S0103-90162008000600008

SILVA, P. P. L.; SOARES, J. G.; COSTA, L. S.; VIANA, C. F.; ANDRADE, V. X.; NASCIMENTO, A. R.; TODARO, A.; RIFFEL, M. F.; GROSSIDES, M. H. P.; BARBOSA, A. E. G.; SANT'ANA. C. E.; NETO, R. 2012: Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane;

SILVERIO, J. M. VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR TOLERANTES AO DÉFICIT HÍDRICO.

SOUZA, SMITH, D.; INMAN, B. N.; THORBURN, P. (2005). Crescimento e função do sistema radicular da cana-de-açúcar . *Field Crops Res.* 92 , 169-183. 10.1016 / j.fcr.2005.01.017

SONGSRI, P.; JOGLOY, S.; VORASOOT, N.; AKKASAENG, C.; PATANOTHAI, A.; HOLBROOK, C. C. (2008). Distribuição radicular de genótipos de amendoim resistentes à seca em resposta à seca. *J. Agron. Crop Sci.* 194, 92–103.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Tradução de Armando Molina Divan JUNIOR et al. 6ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918 p.

TARDIEU, F.; BRUCKLER, L.; LAFOLIE, F. (1992). A aglomeração de raízes pode afetar o potencial de água da raiz e a resistência ao transporte de água pelo solo . *Plant Soil* 140 , 291–301. 10.1007 / BF00010606

TARDIEU, F. J. *Exp Bot.* Janeiro de 2012; 63 (1): 25-31. Qualquer característica ou alelo relacionado à característica pode conferir tolerância à seca: basta projetar o cenário de seca correto.

VILELA, R. D. Alterações fisiológicas e bioquímicas de duas variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico. 2011. Universidade Federal de Alagoas -UFAL, Centro de Ciências Agrárias. Dissertação de mestrado.

WANG, H.; SIOPONGCO, J.; WADE, L. J.; YAMAUCHI, A. (2009). Análise fractal no sistema radicular de plantas de arroz em resposta ao estresse hídrico . *Environ. Exp. Robô*, 338–344. 10.1016 / j.envexpbot.2008.10.00.

ANEXOS: APENDICE A - MATERIAL SUPLEMENTAR.

Tabela 1 - Valores F e níveis de significância em ANOVA a dois vias para variáveis de crescimento e biomassa de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no período de Máximo estresse (ME)

Variáveis de crescimento e biomassa (ME)		
Fator	Variedade (V)	Condição hídrica (CC)
Masa seca foliar	15.657 ***	0.401 ns
Masa seca do caule	5.202 *	9.644**
Masa seca de raiz	0.389 ns	1.584 ns
Biomassa total	0.639 ns	2.808 ns
Altura da planta	7.947 *	5.866 *
Altura do colmo	0 ns	0.932 ns
Diâmetro do colmo	21.587***	2.653 ns

Observação. Os níveis de significância são: *** (p < 0,001), ** (p < 0,01), * (p < 0,05), "(p < 0,1), ns, não significativo.

Tabela 2 - Valores F e níveis de significância em ANOVA a dois vias para variáveis fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no máximo estresse (ME).

Variáveis fisiológicas			
Factor	Variedade (V)	Condição Hídrica (CC)	V*CC
CRA	14.356**	15.864**	1.327 ns
Potencial hídrico foliar M	8.647*	14.294**	0.176 ns
Potencial hídrico foliar T	15.537**	2.217 ns	40.887***
Area foliar	21.034 ***	16.181 **	14.154 **
Fotossíntese	2.003 ns	12.481**	18.833***

Observação. Os níveis de significância são: *** (p < 0,001), ** (p < 0,01), * (p < 0,05), "(p < 0,1), ns, não significativo.

Tabela 3 - Valores F e níveis de significância em ANOVA a dois vias para conteúdo de carboidratos e proteína de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas no Máximo estresse (ME)

Carboidratos e Proteína (ME)			
Fator	Variedade (V)	Condições hídricas (CC)	V x CC
Amido folha	1.449 ns	0.492 ns	23.684***
Amido raiz	0.196 ns	4.327 ns	7.32*
Açúcares redutores folha	8.564*	7.085*	19.558***
Açúcares redutores colmo	1.904 ns	6.029 *	0.843 ns
Açúcares solúveis totais folha	1.687 ns	3.205 ns	0 ns
Açúcares solúveis totais colmo	0.858 ns	27.586***	0.199 ns
Açúcares solúveis totais de raiz	0.121 ns	1.241 ns	3.535 ns
Proteína folha	8.344 *	0.1599 ns	112.812***

Proteína colmo	126.282***	0.362 ns	74.456 ***
Proteína raiz	0.709 ns	0.937 ns	0.252 ns
Sacarose folha	4.866*	4.435 ns	0.098 ns
Sacarose colmo	0.729 ns	31.738 ***	0.237 ns
Sacarose raiz	0.644 ns	2.486 ns	13.558**

Observação. Os níveis de significância são: *** (p <0,001), ** (p <0,01), * (p <0,05), "(p <0,1), ns, não significativo.

Tabela 4 - Valores F e níveis de significância em ANOVA a dois vias para variáveis de crescimento e biomassa de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas 4 dias após reidratação (REC)

Variáveis de crescimento e biomassa (REC)		
Factor	Variedade (V)	Condição hídrica (CC)
Masa seca foliar	12.490 **	12.781**
Masa seca do caule	4.355 ns	5.726 *
Masa seca de raiz	1.487 ns	6.715 ns
Biomassa total	5.361 *	0.064 ns
Altura da planta	205.435***	22.045***
Altura do colmo	60.743***	30.991***
Diâmetro do colmo	4.010 ns	2.617 ns

Observação. Os níveis de significância são: *** (p <0,001), ** (p <0,01), * (p <0,05), "(p <0,1), ns, não significativo.

Tabela 5 - Valores F e níveis de significância em ANOVA a dois vias para variáveis fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas 4 dias após reidratação (REC)

Variáveis fisiológicas		
Fator	Variedade (V)	Condição Hídrica (CC)
CRA	4.051 ns	2.217 ns
Potencial hídrico foliar M	0.2 ns	0.2 ns
Potencial hídrico foliar T	19.894***	0.180 ns
Area foliar	2.187 ns	8.830 *
Fotossíntese	0.216 ns	10.741***

Observação. Os níveis de significância são: *** (p <0,001), ** (p <0,01), * (p <0,05), "(p <0,1), ns, não significativo.

Tabela 6 - Valores F e níveis de significância em ANOVA a dois vias para conteúdo de carboidratos e proteína de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas em duas condições hídricas e coletadas 4 dias após reidratação (REC)

Carboidratos e Proteína (REC)			
Fator	Variedade (V)	Condições hídricas (CC)	V x CC
Amido folha	4.114 ns	0.594 ns	0.427 ns
Amido colmo	0.008 ns	0.076 ns	0.611 ns
Amido raiz	11.646 **	0.003 ns	0.041 ns

Açúcares redutores folha	4.998 *	13.879**	6.553*
Açúcares redutores colmo	0.194 ns	2.471 ns	1.810 ns
Açúcares redutores raiz	0.361 ns	3.502 ns	0.126 ns
Açúcares solúveis totais folha	328.703***	9.925**	81.145***
Açúcares solúveis totais colmo	53.166***	3.232 ns	15.258**
Açúcares solúveis totais de raiz	11.091**	7.206*	0.0015 ns
Proteína folha	5.163*	10.398**	10.121**
Proteína colmo	19.099***	5.442*	4.992*
Proteína raiz	3.037 ns	14.334**	0.901 ns
Sacarose folha	107.148***	3.796 ns	52.780***
Sacarose colmo	17.393**	9.397**	2.632ns
Sacarose raiz	16.219**	2.559 ns	3.478 ns

Observação. Os níveis de significância são: *** ($p < 0,001$), ** ($p < 0,01$), * ($p < 0,05$), “($p < 0,1$), ns, não significativo.