

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E BIOQUÍMICAS DE VARIEDADES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

**Serra Talhada-PE**  
**Fevereiro, 2016**

YGOR HENRIQUE LEAL

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E BIOQUÍMICAS DE VARIEDADES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Tavares da Rocha

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Campelo de Oliveira

Serra Talhada-PE

Fevereiro 2016

Ficha catalográfica

L435c Leal, Ygor Henrique  
Características agronômicas e bioquímicas de variedades de  
cana-de-açúcar cultivadas no semiárido pernambucano / Ygor  
Henrique Leal. – Recife, 2016.  
40 f. : il.

Orientador: Alexandre Tavares da Rocha.  
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra  
Talhada, Serra Talhada, 2016.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Estresse oxidativo 2. Tolerância 3. Déficit hídrico  
4. Maturação precoce 5. Produtividade de colmo I. Rocha,  
Alexandre Tavares da, orientador II. Título

CDD 338.17

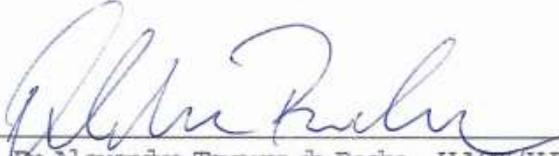
YGOR HENRIQUE LEAL

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E BIOQUÍMICAS DE VARIEDADES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

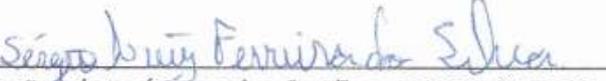
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

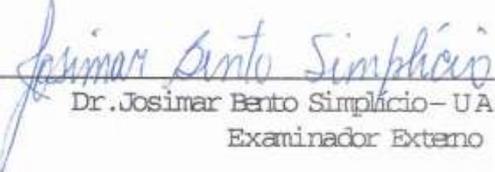
APROVADO em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Alexandre Tavares da Rocha – UAST/UFRPE  
Orientador

  
Prof. Dr. Alexandre Campelo de Oliveira – UAST/UFRPE  
Co-orientador, Examinador Interno

  
Prof. Dr. Sérgio Luiz Feneira da Silva – UAST/UFRPE  
Examinador Interno

  
Dr. Josimar Bento Simplicio – UAST/UFRPE  
Examinador Externo

  
Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessa – UAST/UFRPE  
Suplente

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi identificar e diferenciar, variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) que melhor se adaptem a condição de restrição hídrica do semiárido, a partir de parâmetros biométricos, bioquímicos e de produção. O experimento foi conduzido em condição de sequeiro no Sítio Carro Quebrado, no distrito de Canaã, município de Triunfo, Microrregião do Pajeú. O delineamento estatístico adotado foi em blocos casualizados, com 8 variedades de cana-de-açúcar em 3 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. As variedades utilizadas foram: RB72454, RB962962, RB763710, RB951541, RB92579, RB931011, RB867515, RB863129. No momento e após a colheita (oitavo mês), foram realizadas as avaliações biométricas, bioquímicas, de qualidade e de produção da cana-de-açúcar. As variáveis biométricas avaliadas foram: número de colmos por metro linear (NC), altura do colmo (AC) e diâmetro do colmo (DC). As análises bioquímicas foram: polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), carboidratos solúveis ( $\text{CHO}_{\text{sol}}$ ) e prolina livre (PL). A análise qualitativa consistiu na quantificação dos sólidos solúveis (Brix) do caldo de cana, e a partir deste foi calculado o índice de maturação (IM). A avaliação de produção consistiu na quantificação de toneladas de colmo por hectare (TCH), produzidas pelas variedades testadas. Entre as variáveis agrônomicas avaliadas, apenas o diâmetro do colmo foi capaz de estabelecer diferença estatística entre as variedades testadas, onde a variedade RB72454 foi a que obteve melhores resultados. De modo geral, as oito variedades de cana-de-açúcar apresentaram excelentes produtividades de colmo. Para as variáveis bioquímicas, apenas a enzima SOD não foi capaz de diferenciar estatisticamente as variedades de cana-de-açúcar, quanto a maior tolerância ou capacidade adaptativa ao estresse hídrico, sendo que para a ativação das enzimas PPO e POD a variedade RB951541 apresentou maior eficiência e para CAT as variedades RB92579 e RB72454, como mecanismo de defesa ao estresse hídrico.

**Palavras-chave:** Estresse oxidativo, tolerância, déficit hídrico, maturação precoce, produtividade de colmo.

## ABSTRACT

The objective was to identify and differentiate varieties of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) best suited to water stress condition of the semiarid region, from biometric parameters, biochemical and production. The experiment was conducted under rainfed condition in Sitio Broken-Car in Canaan district Triunfo municipality, micro-region of Pajeú. The statistical design was a randomized block with 8 varieties of cane sugar in 3 repetitions, totaling 24 experimental plots. The varieties used were: RB72454, RB962962, RB763710, RB951541, RB92579, RB931011, RB867515, RB863129. At the time and after harvest (eight months), biometric, biochemical assessments, quality and production of sugarcane were conducted. The biometric parameters evaluated were: number of stems per meter (NC), Height of stem (AC) and stem diameter (DC). Biochemical analyzes were polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), soluble carbohydrates (CHOsol) and free proline (PL). Qualitative analysis consists of the quantification of soluble solids (Brix) of sugar cane juice, and from this was calculated the maturation index (MI). The production of evaluation consisted in quantifying tons of stalk per hectare (TCH), produced by the tested varieties. Among the agronomic variables evaluated, only the stem diameter was able to establish statistical difference between the varieties tested, where the variety RB72454 was that better results. In general, the eight varieties of sugarcane showed excellent thatched productivities. For the biochemical variables, only the SOD enzyme was not able to statistically distinguish the varieties of sugarcane, as a greater tolerance or adaptive capacity to water stress, and for the activation of PPO enzyme and POD RB951541 variety showed higher efficiency and the CAT RB92579 and RB72454 varieties, as a defense mechanism to water stress.

**Keywords:** Oxidative stress, tolerance, water deficit, early maturing, thatched productivity.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Médias de precipitação e temperatura do sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015..... 14
- Figura 2 Peroxidação lipídica (TBARS) de folhas, pelo método de HEATH & PACKER (1968), em oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015. As barra verticais representam o desvio padrão..... 40
- Figura 3 Eficiência de carboxilação (PN/Ci), em oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015. As barra verticais representam o desvio padrão..... 40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise química do solo da área experimental.....	15
Tabela 2	Produtividade de colmos (TCH), diâmetro do colmo (DC), altura do colmo (AC), número de colmos por metro linear (NC), teor de sólidos solúveis (BRIX) e índice de maturação (IM) de oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.....	21
Tabela 3	Correlação entre as variáveis de produção, biométricas e de qualidade de oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.....	22
Tabela 4	Atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), conteúdo de carboidratos solúveis (CS) e conteúdo de prolina livre (PL) em oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
2.1 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	14
2.2 VARIEDADES UTILIZADAS.....	15
2.3 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	17
2.3.1 Avaliações agronômicas.....	17
2.3.2 Análises bioquímicas.....	17
2.3.2.1 Carboidratos solúveis (CHO <sub>sol</sub> ).....	17
2.3.2.2 Prolina Livre (PL).....	18
2.3.2.3 Peroxidase (POD; EC:1.11.1.7) e Polifenoloxidase (PPO; EC:1.10.3.1).....	18
2.3.2.4 Catalase (CAT; EC:1.11.1.6) e Superóxido Dismutase (SOD; EC:1.15.1.1).....	19
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	31
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	32
<b>6 APÊNDICE</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma cultura de extrema importância econômica e social, principalmente para o setor sucroalcooleiro e energético, gerando renda e empregos. A estimativa de produção de cana-de-açúcar no Brasil, para a safra 2015/2016, é de 658,7 milhões de toneladas, numa área plantada de aproximadamente 8.995,5 mil hectares, destinada à atividade sucroalcooleira (CONAB, 2015).

Devido à restrição hídrica, a região Norte/Nordeste apresentou na safra atual de cana-de-açúcar, queda de 4,6% na produtividade e 2,9% na área plantada, evento já ocorrido nas safras 2012/2013 e 2013/2014, pelo mesmo motivo (CONAB, 2015), evidenciando a importância de estudar os impactos desse tipo de estresse na cana-de-açúcar, auxiliando no planejamento de novos cultivos (VIANNA e SENTELHAS, 2014).

As condições predominantes no semiárido nordestino não são ideais para o desenvolvimento das culturas, entre elas, o déficit hídrico, excesso de sais no solo e na água, e altas temperaturas e luminosidade (SILVA, 2008). A precipitação média anual do semiárido é inferior a 800 mm (PEREIRA JUNIOR, 2007) e em anos mais secos pode chegar a menos de 200 mm, de acordo com análises de séries de dados (ANA, 2016).

A busca por variedades resistentes ao estresse hídrico, é provavelmente, a forma mais simples e eficaz de se manter a produtividade da cana-de-açúcar sob condição semiárida. Alguns genótipos de cana-de-açúcar mostram rápida recuperação após eventos de seca (LANDELL et al., 2005). As alterações morfológicas e fisiológicas das plantas, provenientes do estresse hídrico, podem definir genótipos tolerantes e susceptíveis (O'NEILL et al. 2006).

Dos vários estresses abióticos existentes (déficit hídrico, salinidade, altas e baixas temperaturas, inundação, poluentes e radiação), o déficit hídrico é o que mais causa danos ao crescimento, metabolismo e produtividade da cana-de-açúcar (REIS, 2013).

Assim, o estudo dos fatores limitantes do desenvolvimento da cana-de-açúcar, possui extrema importância, auxiliando os programas de melhoramento genético, a manutenção, permanência e otimização das diversas cadeias produtivas da cultura, como: a geração de energia a partir da biomassa, a alimentação animal e a produção de cachaça e rapadura, que é a base de sustentação para diversas famílias de agricultores, beneficiadores e comerciantes, muito comuns no sertão do Pajeú e em outras regiões.

Devido à demanda de genótipos tolerantes e a falta de esclarecimento dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos, como indicadores de tolerância de plantas ao estresse hídrico, faz-se necessário a realização desses estudos. Auxiliando o trabalho do melhoramento genético, minimizando os efeitos desta condição adversa sobre o rendimento das culturas (KAVI KISHOR et al., 2005; GRENNAN, 2006; SILVA et al., 2008).

Desta forma, o estudo dos mecanismos de adaptação da cana-de-açúcar ao estresse hídrico, contribui grandemente para o desenvolvimento de cultivares tolerantes, influenciando diretamente na viabilidade de seu cultivo (OLIVEIRA, 2012). A diminuição da irrigação seria outro benefício advindo dos genótipos tolerantes ao estresse hídrico, proporcionando a redução do custo de produção (ROCHA et al., 2007), já que a água é um recurso limitado, sobretudo no semiárido e junto ao sistema de irrigação, onera o investimento, sendo muitas vezes inviável ou inaplicável.

Varias técnicas podem ser utilizadas na identificação de variedades adaptadas. Desde as mais simples, como avaliações biométricas, até as mais complexas como a avaliação de enzimas e compostos orgânicos que sinalizem uma possível resistência do vegetal ao estresse. A análise quantitativa do crescimento é a melhor forma de compreender tais influências (ECCO et al., 2014). As respostas ao estresse hídrico se manifestam de quatro formas: limitação do crescimento, adaptações morfológicas, adaptações fisiológicas e alterações metabólicas (PINCELLI, 2010).

Na adaptação de plantas a seca, diversas características podem sofrer alterações, como: o aumento e aprofundamento do sistema radicular; diminuição da altura e diâmetro do colmo; aumento do número de perfilhos; ajuste do equilíbrio osmótico celular, a partir da produção de osmólitos; diminuição da área foliar; maior eficiência do sistema antioxidante; entre outros (TUBEROSA e SALVI, 2006).

O estresse oxidativo é induzido pelo estresse hídrico, devido à ocorrência do desbalanço fotoquímico, que inibe a fotossíntese (FOYER e NOCTOR, 2005). As adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas em condições de estresse, potencializam os danos oxidativos causados por espécies reativas de oxigênio (EROs), que são capazes de danificar organelas celulares vitais as plantas e destruir membranas plasmáticas, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, provocando até morte celular (UZILDAY et al., 2012; TAHMASEBI et al., 2012). As EROs eram generalizadas como produtos tóxicos provenientes do metabolismo

aeróbico, no entanto, também estão sendo abordadas como sinalizadoras de estresse (DAT et al, 2000; MITTLER, 2002).

Desta maneira, enzimas antioxidantes e outros compostos não enzimáticos produzidos pelas plantas como defesa, são capazes de neutralizar estes danos (CIA et al., 2012). No complexo de enzimas antioxidativas, estão inclusas a catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (GPOX) e glutathione redutase (GR) (MARTINS et al., 2011). Quanto aos compostos orgânicos, podemos citar a glutathione, o ácido ascórbico, os alcalóides, os fenóis, tocoferóis e carotenóides (GRATÃO et al., 2005).

A SOD têm importante papel na adaptação e sobrevivência de plantas submetidas a estresse, sendo considerada a primeira linha de defesa contra as EROs, dismutando o superóxido ( $O_2^-$ ), para peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) gerando menores níveis de peroxidação lipídica (SCANDALIOS, 2005; AMARO, 2011). A CAT e a APX tem como principal função auxiliar o ciclo ascorbato-glutathione, atuando na desintoxicação causada pelo peróxido de hidrogênio, nas células das plantas (AHMAD et al., 2010).

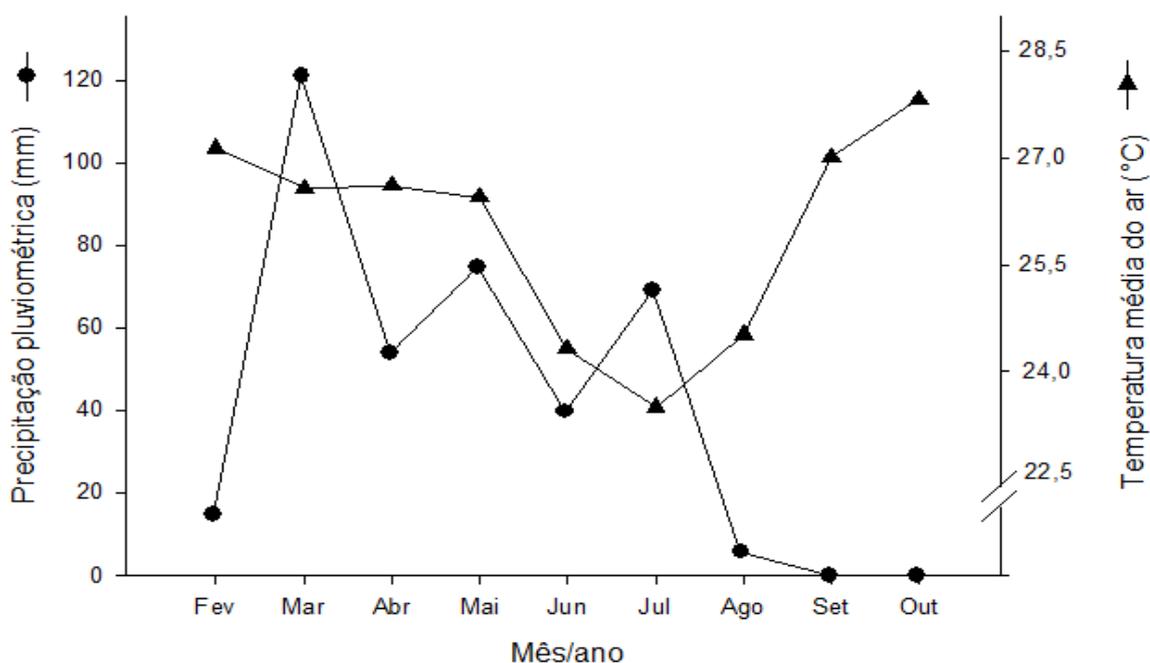
A principal resposta adaptativa ao estresse hídrico nas plantas é o ajuste osmótico, diretamente relacionado ao nível de tolerância das mesmas. De modo a, produzir e acumular solutos compatíveis nos espaços intercelulares (vacúolo ou no citosol), desempenhando um papel osmoprotetor, como por exemplo, a prolina (aminoácido), que mantém as proteínas, enzimas e membranas, íntegras e balanceadas hídricamente, caracterizando adaptação das plantas às condições adversas (ABDUL JALEEL et al., 2007; RHEIN et al., 2011).

O presente estudo tem como objetivo, identificar e diferenciar, variedades de cana-de-açúcar que melhor se adaptem a condição de restrição hídrica do semiárido pernambucano, a partir de variáveis agronômicas e bioquímicas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Condução do experimento

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a outubro de 2015, no Sítio Carro Quebrado (latitude:  $-7^{\circ}53'14,77''$  S; longitude:  $38^{\circ}6'49,18''$  W; altitude: 535,5 m), no distrito de Canaã, município de Triunfo, localizado no Sertão do Pajeú. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca no inverno. A média anual de precipitação é de aproximadamente 501,71 mm e de temperatura  $25,9^{\circ}\text{C}$ . Os dados foram obtidos na base de dados meteorológicos da APAC, estação meteorológica de Serra Talhada – PE (temperatura) e de Calumbi – PE (precipitação), que possuem maior representatividade da área experimental.



**Figura 1.** Médias de precipitação e temperatura do Sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.

A área experimental estava em pousio por 12 anos. Para o plantio, foram realizadas aração e sulcagem, com o espaçamento de 1 m entre sucos e profundidade aproximada de 0,3 m. Foram coletadas amostras compostas de solo para a caracterização química da área (Tabela 1). Conforme resultados da análise, foi realizada a adubação no sulco de plantio, baseada no Manual de Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

O método de plantio utilizado foi o “pé com ponta”, onde os colmos foram distribuídos uniformemente nos sulcos de plantio, para a obtenção de uma maior uniformidade de plantas. Em seguida, os colmos foram seccionados em toletes menores contendo 3 a 4 gemas (TOWNSEND, 2000).

**Tabela 1.** Análise química do solo da área experimental.

Prof. Cm	Fe	Cu	Zn	Mn	P	K	Na	Al	Ca	Mg	(H+Al)	S.B	CTC	M.O.	C	m	V	
	mg dm <sup>-3</sup>				pH				cmolc dm <sup>-3</sup>					g dm <sup>-3</sup>		%		
20	165,5	0,8	21	34	21	6,3	0,4	0	0	4,7	0,9	1	6	7,04	1,5	0,8	0,2	85
40	160,5	1,9	11	106	17	6,4	0,3	0	0	4,2	0,4	0,6	4,9	5,48	1,1	0,6	0,2	90

CTC = capacidade de troca de cátions; M.O. = matéria orgânica.

O delineamento estatístico adotado para o experimento foi em blocos casualizados, com 8 variedades de cana-de-açúcar, e 3 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. As unidades experimentais foram compostas por 4 sulcos com 9 m de comprimento, espaçados por 1 m, totalizando uma área de 36 m<sup>2</sup>, sendo a área útil composta pelos 2 sulcos centrais, onde foi eliminado 1 m de cada extremidade, totalizando 14 m<sup>2</sup>.

## 2.2. Variedades Utilizadas

As variedades utilizadas foram: RB72454, RB962962, RB763710, RB951541, RB92579, RB931011, RB867515, RB863129. Escolhidas com base em experimentos já realizados no sertão do estado e em zonas mais secas da Zona da Mata, e por possuírem grande representatividade no Estado de Pernambuco.

As canas sementes foram cedidas pela *EECAC* (Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina), em convênio com a *RIDESA* (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético).

As características gerais das variedades testadas são:

RB72454 – Alta produtividade agrícola, velocidade de crescimento regular, porte alto, hábito de crescimento ereto, raro tombamento, florescimento eventual, pouco chochamento, maturação média tardia, de fácil despalha, sem restrição quanto ao ambiente de cultivo, alto teor de sacarose, médio teor de fibra, resistente ao carvão, ferrugem marrom e mosaico e tolerante a escaldadura *RIDESA* (2010).

RB962962 – Alta produtividade agrícola, velocidade de crescimento rápido, porte alto, hábito de crescimento ereto, raro tombamento e florescimento, não apresenta chochamento, maturação média tardia, de fácil despalha, sem restrição quanto ao ambiente de cultivo, alto teor de sacarose, médio teor de fibra e moderadamente sensível a ferrugem marrom RIDESA (2010).

RB763710 – Alta produtividade agrícola, velocidade de crescimento rápido, porte alto, hábito de crescimento semi-decumbente, eventual tombamento e florescimento, não apresenta chochamento, maturação média tardia, de fácil despalha, sem restrição quanto ao ambiente de cultivo, médios teores de sacarose e de fibra e tolerante a ferrugem marrom e a escaldadura RIDESA (2010).

RB951541 – Média produtividade agrícola, velocidade de crescimento rápido, porte alto, hábito de crescimento ereto, eventual tombamento e florescimento, não apresenta chochamento, maturação precoce, de fácil despalha, sem restrição quanto ao ambiente de cultivo, alto teor de sacarose, médio teor de fibra e resistente a ferrugem marrom e a escaldadura RIDESA (2010).

RB92579 – Alta produtividade agrícola, velocidade de crescimento lento, porte alto, hábito de crescimento semi-decumbente, tombamento frequente, florescimento eventual, pouco chochamento, maturação média tardia, de difícil despalha, média restrição quanto ao ambiente de cultivo, alto teor de sacarose, médio teor de fibra, resistente a escaldadura e tolerante a ferrugem marrom RIDESA (2010).

RB931011 – Média produtividade agrícola, velocidade de crescimento rápido, porte alto, hábito de crescimento ereto, raro tombamento, florescimento frequente, médio chochamento, maturação tardia, de média despalha, com restrição quanto ao ambiente de cultivo, médios teores de sacarose e de fibra e resistente ao carvão, ferrugem marrom, escaldadura e mosaico RIDESA (2010).

RB867515 – Alta produtividade agrícola, velocidade de crescimento rápido, porte alto, hábito de crescimento ereto, eventual tombamento e florescimento, médio chochamento, maturação média tardia, de média despalha, média restrição quanto ao ambiente de cultivo, média restrição quanto ao ambiente de cultivo, alto teor de sacarose, médio teor de fibra, resistente a ferrugem marrom e tolerante ao carvão, escaldadura e mosaico RIDESA (2010).

RB863129 - Alta produtividade agrícola, velocidade de crescimento regular, porte alto, hábito de crescimento semi-decumbente, raro tombamento, eventual florescimento, pouco chochamento, maturação precoce média, de fácil despalha, sem restrição quanto ao ambiente de cultivo, médios teores de sacarose e de fibra, resistente a escaldadura e moderadamente suscetível a ferrugem marrom RIDESA (2010).

### **2.3. Variáveis avaliadas**

No momento e após a colheita (oitavo mês), foram realizadas as avaliações biométricas, bioquímicas, de qualidade e de produção da cana-de-açúcar. O material utilizado para as análises bioquímicas foram tecidos de folhas de cana-de-açúcar, que foram coletados no momento da colheita, congelados em nitrogênio líquido e mantidos na temperatura de -80 °C, em ultrafreezer.

#### **2.3.1. Avaliações agronômicas**

Para avaliação do crescimento da cana-de-açúcar, foram identificadas dez plantas nas duas linhas centrais de cada parcela experimental (na área útil), onde no oitavo mês de cultivo, foram mensurados o número de colmos por metro linear, a altura e o diâmetro do colmo principal. A altura do colmo foi quantificada utilizando uma trena, a partir do solo até o colarinho da folha (+1) e o diâmetro do colmo foi mensurado com o auxílio de um paquímetro, no terço inferior da planta (MARTINS e LANDELL, 1995; HERMANN e CÂMARA, 1999). A produção de biomassa fresca do colmo foi obtida a partir da pesagem das plantas colhidas ainda em campo, na área útil, sendo o valor posteriormente extrapolado para  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

#### **2.3.2. Análises bioquímicas**

##### **2.3.2.1. Carboidratos Solúveis ( $\text{CHO}_{\text{sol}}$ )**

A extração e determinação de carboidratos solúveis foram realizada de acordo com DUBOIS *et al.* (1956). Com o auxílio de nitrogênio líquido foi macerado 0,05 g de material vegetal em 1,3 mL de água destilada. O extrato foi centrifugado a 12.000 x g por 21 minutos, na temperatura de 4 °C.

Em tubos de ensaio foram pipetados 25  $\mu\text{L}$  do sobrenadante, 475  $\mu\text{L}$  de água destilada, 500  $\mu\text{L}$  de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Os tubos de ensaio

permaneceram em repouso por 10 minutos, sendo agitados em agitador de soluções e em seguida, deixados novamente em repouso por 20 minutos, em recipiente contendo água na temperatura ambiente (25 °C).

As leituras foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 490nm, utilizando cubêta de quartzo. Os carboidratos solúveis foram calculados a partir de uma curva padrão preparada com glicose  $180 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Figura 2). Os resultados foram expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  MF.

#### **2.3.2.2. Prolina Livre (PL)**

A extração e determinação de prolina livre foi realizada de acordo com método descrito por Bates (1973), com adaptações. Foram pesados 0,5 g dos tecidos de folhas frescas de cana-de-açúcar e transferidos para tubos de ensaio com tampas, contendo 10 mL de água destilada. Os tubos foram levados ao Banho Maria, onde permaneceram por 1 hora, na temperatura de 100°C. Em seguida, os extratos foram filtrados duas vezes, usando papel qualitativo.

Foram acrescentadas em tubos de ensaio com tampas, alíquotas de 1 mL do filtrado, 1 mL de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico 6 M) e mais 1 mL de ácido acético glacial concentrado. Sendo esta solução, homogeneizada em agitador de soluções e levada ao Banho Maria por 1 hora, a 100° C. Em seguida os tubos de ensaio foram submetidos a banho de gelo, para paralisar a reação. Após atingir temperatura ambiente, foram adicionados 2 mL de tolueno e a solução foi homogeneizada por 15 segundos.

Após 30 minutos da homogeneização, foram realizadas as leituras em espectrofotômetro com absorvância de 520 nm, utilizando cubeta de vidro. Para quantificação da prolina livre foi preparada uma curva padrão utilizando prolina 0,001 M. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol g}^{-1}$  MF.

#### **2.3.2.3. Peroxidase (POD; EC:1.11.1.7) e Polifenoloxidase (PPO; EC:1.10.3.1)**

A extração foi realizada utilizando nitrogênio líquido, havendo a homogeneização de 0,1 g de tecido de folha de cana-de-açúcar em 1,3 mL de tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,0), conservado a 4 °C. Após a extração a amostra foi centrifugada a 12.000 x g por 21

minutos a 4 °C, segundo metodologia proposta por SILVA (1981) adaptada por SIMÕES et al. (2015).

No preparo da reação da enzima POD, foram pipetados em cubêta de quartzo: 10 µL do sobrenadante e 1290 µL de tampão fosfato 0,2 M (pH 6,0), após 1:30 minutos foram adicionados 100 µL de peróxido de hidrogênio (0,08%) e 100 µL de guaiacol (0,5%). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro no período de três minutos, com intervalos entre leituras de 30 segundos, no comprimento de onda de 470 nm, na temperatura de 30 °C.

A atividade da POD foi determinada através do coeficiente de extinção molar de 26,6 M cm<sup>-1</sup> para o guaiacol, expressa em nmol min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

No preparo da reação da enzima PPO, foram pipetados em cubêta de quartzo: 10 µL do sobrenadante, 1590 µL de tampão de fosfato 0,2 M (pH 6,0) e 1,3 mL de catecol (0,2 M). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 425 nm, no período de dois minutos, com intervalos entre leituras de 10 segundos, na temperatura de 25 °C.

A atividade da PPO foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 34 M cm<sup>-1</sup> para o catecol, expressa em nmol min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

#### **2.3.2.4. Catalase (CAT; EC:1.11.1.6) e Superóxido Dismutase (SOD; EC:1.15.1.1).**

A extração foi realizada utilizando nitrogênio líquido, sendo homogeneizado 0,1 g de tecido de folha de cana-de-açúcar e 1,3 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH =7,0). O extrato foi centrifugado a 12.000 x g por 21 minutos à 4 °C, segundo metodologia proposta por SILVA (1981) adaptada por SIMÕES et al. (2015)

No preparo da reação da enzima CAT, foram pipetados em cubêta de quartzo: 300 µL do sobrenadante, 2,7 ml de tampão fosfato de sódio 50 mM (pH 7,0), com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (20 mM). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 240 nm, durante três minutos, com intervalos de 30 segundos entre leituras, a uma temperatura de 30°C, de acordo com HAVIR e MCHALE (1987).

A atividade da catalase foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 36 M cm<sup>-1</sup> para o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e expressa em nmol min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF

No preparo da reação da enzima SOD, foram pipetados em tubos de ensaio: 100  $\mu\text{L}$  do sobrenadante, 1.660  $\mu\text{L}$  de tampão fosfato de sódio 50 mM (pH 7,8) (13 mM de metionina e 1 mM EDTA), 40  $\mu\text{L}$  de riboflavina 2mM e 200  $\mu\text{L}$  de Nitro blue tetrazolium chloride (NBT) a 750  $\mu\text{M}$ , de acordo com GIANNOPOLITIS e RIES (1977).

A reação ocorreu em câmara clara, sendo o material exposto à luz (duas lâmpadas fluorescentes de 18 W) por seis minutos e as leituras realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 560 nm. A atividade foi calculada com base na inibição da redução de NBT. Uma unidade de atividade (U.A.) foi definida como a quantidade da enzima necessária para inibir a fotoredução em 50 % (BEAUCHAMP e FRIDOVICH, 1971). A atividade foi expressa em  $\text{U.A min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ .

A qualidade da cana-de-açúcar foi avaliada pelo conteúdo de sólidos solúveis (Brix) do caldo de cana, sendo utilizado um refratômetro de bancada (ABBE-ART-100) para a quantificação. O caldo foi extraído com o auxílio de uma moenda. Após a moagem, o caldo foi filtrado para eliminar bagaços e impurezas, sendo utilizadas duas gotas para a análise.

As medições foram realizadas no caldo extraído dos internódios da base do colmo (2 a 3 internódios), da ponta do colmo (2 a 3 internódios) e do colmo inteiro, possibilitando o monitoramento da maturação da cana-de-açúcar.

#### **2.4. Análises estatísticas**

Os dados obtidos no experimento foram submetidos aos testes de normalidade, homocedasticidade e análise de variância, sendo transformados quando necessário. As médias foram comparadas ao nível de 10% de probabilidade, utilizando o software STATISTICA 7.0. Para a comparação das variáveis testadas em cada variedade de cana-de-açúcar, foram utilizadas as médias e os desvios padrões. Os gráficos foram confeccionados utilizando o software Sigma Plot versão 10.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variedades de cana-de-açúcar testadas não apresentaram diferença estatística para as variáveis agrônômicas, exceto para diâmetro do colmo, onde o maior diâmetro apresentado foi de 32,01 mm para a variedade RB72454, seguido das demais variedades, exceto a RB92579 que obteve menor valor (25,26 mm). As demais variedades não apresentaram diferença significativa (Tabela 2).

**Tabela 2.** Produtividade de colmos (TCH), diâmetro do colmo (DC), altura do colmo (AC), número de colmos por metro linear (NC), teor de sólidos solúveis (BRIX) e índice de maturação (IM) de oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.

Variedade	TCH	DC	AC	NC	BRIX	IM
	Mg ha <sup>-1</sup>	mm	m		%	
RB 72454	138,06	32,01 a	0,88	24	21,7	0,95
RB 962962	166,29	30,46 ab	1,26	24	20,3	0,94
RB 763710	208,16	30,46 ab	1,14	27	19,0	0,94
RB 951541	106,04	26,95 ab	0,90	22	19,7	1,01
RB 92579	118,16	25,26 b	1,00	23	19,8	1,02
RB 931011	72,45	26,65 ab	0,87	18	21,5	1,00
RB 867515	134,27	27,93 ab	1,27	18	21,0	0,96
RB 863129	117,07	27,17 ab	1,33	17	20,3	0,98
Média	132,56	28,36	1,08	22	20,4	0,98
F	2,09	3,24*	2,41	1,99	0,53	0,35
CV (%)	30,8	8,2	17,80	16,7	4,6	3,20

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

\* Significativo a 5% pelo teste F.

Os resultados de diâmetro do colmo obtidos no presente estudo, corroboram com os encontrados por Silva et al. (2011), que observou diâmetro de 24,5 mm para a variedade RB92579 e Oliveira et al. (2015) que obteve diâmetro do colmo de 24,86 mm para a variedade RB72454, submetida ao estresse hídrico em condições semiáridas do Brasil. Assim, a diferença significativa encontrada para diâmetro do colmo pode estar relacionada à diferente capacidade de cada genótipo em armazenar fotoassimilados, influenciando no diâmetro do colmo, já que os índices de maturação (Tabela 2) mostram que as variedades já estavam maduras no momento da colheita e que o crescimento das plantas já teria cessado.

Os fotoassimilados (sacarose) são destinados à expansão e armazenamento nos colmos, quando a cana-de-açúcar é submetida às condições ideais de maturação natural

(temperaturas inferiores a 21°C e/ou ocorrência de déficit hídrico), cessando seu crescimento vegetativo, que é otimizado em temperaturas variando entre 28 e 34°C (CARDOSO, 2006; COSTA et al., 2011).

As variedades com maior diâmetro também apresentaram maior produtividade de colmo, havendo correlação positiva (coeficientes de correlação = 0,72) entre estas variáveis avaliadas (Tabela 3). Mostrando que quanto maior o diâmetro do colmo, maior a produção de colmos por hectare, assim como, a recíproca.

**Tabela 3. Correlação entre as variáveis de produção, biométricas e de qualidade de oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.**

VARIÁVEIS	NC	AC	DC	Brix
TCH	0,6*	0,59*	0,72*	-0,25
NC		-0,16	0,37	0,08
AC			0,34	-0,40
DC				-0,08

\* Correlação significativa a nível de 5%. TCH - Tonelada de Cana por hectare; NCML - número de colmos por metro linear; AC - altura do colmo e DC - diâmetro do colmo.

Para produtividade de colmos, não foi verificada diferença estatística, onde a média obtida pelas variedades de cana-de-açúcar testadas foi de 132,56 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo observado um incremento de até 187,32% entre as mesmas. Vale ressaltar que a expectativa de produção de todas as variedades foi bastante satisfatória e superior a média de produtividade para as variedades na Zona-da-Mata de Pernambuco, indicando que a cana-de-açúcar continua sendo uma opção interessante para a produção de biomassa nessa Região do Semiárido Pernambucano, onde há uma considerável produção de rapadura, cachaça, açúcar mascavo, entre outros subprodutos.

Vale destacar ainda que o semiárido não é homogêneo, ou seja, possui áreas de exceção, sub-úmidas, que são assim denominadas por serem relativamente úmidas e inseridas no inverno seco do Nordeste (LIMA, 1981), com condições edafoclimáticas privilegiadas e notadas pelo contexto agrícola mais diversificado, favorecendo assim, o desempenho das culturas implantadas nestas áreas.

A variedade RB763710 apresentou TCH semelhante (212 Mg ha<sup>-1</sup>) a observada por Oliveira et al. (2010), que utilizou irrigação plena no cultivo de onze variedades de cana-de-

açúcar, onde as variedades RB72454 e RB867515, apresentaram TCH de 192 e 186 Mg ha<sup>-1</sup>, que no presente estudo produziram 138,06 e 134,27 Mg ha<sup>-1</sup> em regime de sequeiro. A similaridade de respostas da variedade RB763710 em ambos os trabalhos, pode estar relacionada com a ocorrência de chuvas nos primeiros seis meses de cultivo do atual estudo e maior capacidade de extração de nutrientes do solo, ambos interagindo e favorecendo o melhor desempenho da variedade e/ou a mesma, possuir maior produção e armazenamento de fotoassimilados.

Silva et al. (2012) trabalhando com cana-de-açúcar no semiárido brasileiro, obteve requerimento hídrico de 1710 mm para o ciclo de 12 meses, sendo este, menor nas fases iniciais de cultivo (brotação e estabelecimento da cultura - 50 mm; estabelecimento e perfilhamento - 299 mm; crescimento máximo - 1211 mm; maturação - 147 mm), indicando que no presente estudo a cultura sofreu menor estresse, devido a precipitação de 379,8 mm, nos seis primeiros meses de cultivo (figura 1).

As variedades RB763710, RB72454 e RB867515 apresentaram alta produtividade de colmos, comparando com os resultados obtidos por Oliveira et al. (2011) trabalhando com diferentes regimes hídricos na Zona da Mata Norte de Pernambuco, onde as respectivas variedades apresentaram TCH de 79,2; 68,0 e 87,6 Mg ha<sup>-1</sup> em condição de sequeiro (precipitação efetiva = 1141,4 mm), ressaltando que no período de condução do presente estudo choveu o equivalente a 379,8 mm, indicando a possibilidade de melhor adaptação das variedades à condição de restrição hídrica do semiárido em função do melhor aproveitamento da água no período de maior crescimento da cultura. Outra possibilidade seria a maior permanência de água no solo, visto que no experimento, o mesmo possui textura média enquanto que os solos da zona da mata norte do estado são, predominantemente, arenosos, reduzindo o tempo de água disponível para a planta, nessa região.

A produtividade de colmo obtida pela variedade RB931011 (72,45 Mg ha<sup>-1</sup>), pode ser explicada devido a mesma possuir maturação tardia, sendo a única a apresentar esta característica entre as oito variedades testadas, desenvolvendo-se com menor velocidade que as demais. No entanto, a produtividade de cana-de-açúcar estimada para a safra de 2015/2016 é de 73,23 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015), ou seja, bem próxima da produtividade de colmos encontrada no presente estudo.

Para número de colmos por metro linear (NC) não houve diferença significativa entre as variedades testadas (Tabela 2), onde as mesmas apresentaram média de 22 colmos por metro linear, variando entre 17 e 27 para as variedades RB931011 e RB863129. Estes resultados também explicam os altos valores de TCH encontrados no presente trabalho, onde a correlação entre estas variáveis foi significativa, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,60 (Tabela 3). O TCH é diretamente influenciado pelo número de colmos e massa média de colmos (SILVA et al., 2011).

Silva et al. (2011) obteve número de colmos por metro linear de 9,07 para a variedade RB763710, 12,1 para a RB92579 e 9,25 para a RB863129, valores muito inferiores aos encontrados no presente estudo, que apresentou um maior estande de plantas, explicando os altos valores de NC.

Para o teor de sólidos solúveis (brix), as variedades de cana-de-açúcar testadas (Tabela 2) não apresentaram diferença significativa, obtendo média de 20,4%, variando entre 19,02 e 21,67% para as variedades RB763710 e RB72454. Silva et al. (2011) também não obteve diferença significativa para o Brix, trabalhando com 18 genótipos de cana-de-açúcar. Costa et al (2011) obteve resultados de sólidos solúveis de 19,54% para a variedade RB92597, semelhante ao encontrado no presente trabalho (19,75%).

Deon et al. (2010) e Oliveira et al. (2011) observaram que o uso da irrigação reduziu os teores de sólidos solúveis em cana-de-açúcar. Mostrando que o aumento da disponibilidade hídrica influencia negativamente esta variável, assim como dito por Scarpari e Beauclair (2008), afirmando que tal redução do Brix é resultado da diluição dos açúcares.

Quanto ao índice de maturação, as variedades de cana-de-açúcar testadas obtiveram média de 0,98, apresentando-se maduras no momento da colheita, onde a RB92579 e RB951541 já se encontravam em processo de declínio de sacarose, com índices de maturação de 1,02 e 1,01 (Tabela 2).

Dentre as variedades testadas, apenas a RB951541 possui maturação precoce, e a RB863129 precoce média, as demais possuem maturação média tardia e tardia (RIDESA, 2010). Uma explicação para a maturação ter sido muito precoce (8 meses), é que a cana foi induzida naturalmente pelo déficit hídrico severo, sofrido nos últimos meses de cultivo, onde

a precipitação foi muito baixa (terceiro mês antes da colheita) e ausente (dois últimos meses de cultivo), conforme observado na figura 1.

Quanto à altura do colmo, não houve diferença estatística entre as variedades avaliadas, apresentando média de 1,08 m. Os resultados variaram entre 1,33 e 0,87 m para as variedades RB863129 e RB931011 respectivamente, sendo possível observar que as variedades apresentaram pequena estatura e que possuem crescimento vertical semelhante.

A variedade RB92579 apresentou altura do colmo de 1,0 m, sendo muito inferior a encontrada por Silva et al. (2011), que obteve 2,47 m para a mesma variedade e 2,08 m para a RB863129. Oliveira et al. (2010) próximo aos 240 dias de cultivo, observou para a mesma variedade altura de colmo de 2,91 m. Tais respostas encontradas no presente estudo, podem ser explicadas pela indução natural da maturação por estresse hídrico, de modo que as plantas não atingiram seu máximo desenvolvimento, em função da paralisação do crescimento vegetativo.

Segundo Bamber et al. (2002) a restrição hídrica influencia negativamente o crescimento da planta e causa alterações na fotossíntese. Algumas modificações nas plantas são provocadas pelo estresse hídrico, onde o genótipo, a agressividade do estresse e a fase em que o vegetal se encontra são determinantes para que a planta sobressaia tal condição. (MEDICI et al., 2007). As plantas, quando expostas aos diversos fatores abióticos podem sofrer estresse oxidativo (SANKAR et al., 2008), gerando espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais causam danos oxidativos nas plantas (SHIGEOKA et al. 2002).

Para as variáveis bioquímicas avaliadas, houve diferença estatística para a atividade das enzimas CAT, PPO e POD, sendo a atividade da SOD e o conteúdo de carboidratos solúveis e de prolina livre, semelhantes para todas as variedades de cana-de-açúcar testadas (Tabela 4).

Os radicais livres gerados de espécies reativas de oxigênio podem comprometer a integridade celular, degradando proteínas e lipídios, formando produtos tóxicos (PENNYCOOKE et al., 2005). Devido a isso, as plantas desenvolveram vias metabólicas específicas para diminuição dos danos provocados pelo excesso de peróxidos, dentre elas as enzimas polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD) (GILL e TUTEJA, 2010).

Entre as variedades testadas observou-se que a RB951541 apresentou maior atividade para as enzimas PPO e POD indicando que tal variedade possui maior proteção por essas enzimas e conseqüentemente, maior capacidade adaptativa a restrição hídrica, seguida das variedades RB92579, RB931011, RB867515 e RB863129 para PPO e das variedades RB92579 e RB867515 para POD. As menores atividades das enzimas supracitadas foram encontradas, respectivamente, para as variedades RB72454 e RB931011, indicando apresentarem menor proteção por estas enzimas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), conteúdo de carboidratos solúveis (CS) e conteúdo de prolina livre (PL) em oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015.

Variedade	CAT	SOD	PPO	POD	CS	PL
	nmol H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . g MF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	U. A. g MF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	nmol. g MF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	µmol. g MF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	µmol. g MF <sup>-1</sup>	µmol. g MF <sup>-1</sup>
RB 72454	34,90 a	32,88	1,17 c	1,13 cde	2,34	0,08
RB 962962	14,10 bc	25,90	1,38 bc	0,95 ef	2,39	0,30
RB 763710	12,70 bc	29,73	1,41 bc	1,00 def	2,11	0,35
RB 951541	17,70 b	31,94	2,71 a	1,72 a	1,88	0,12
RB 92579	40,20 a	31,98	1,65 abc	1,45 ab	2,25	0,26
RB 931011	1,56 d	32,25	1,63 abc	0,95 e	2,31	0,37
RB 867515	11,00 c	28,98	1,75 ab	1,29 abc	2,03	0,10
RB 863129	16,90 b	31,15	1,60 abc	1,16 bcd	2,34	0,34
Média	18,63	30,60	1,66	1,21	2,20	0,24
F	100,00	0,75	6,81**	21,27	1,09	3,74*
CV (%)	66,2	14,4	31,1	22,4	13,8	69,34

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.  
\*\*\* Significativo, respectivamente a 5 e 1% pelo teste F.

Relacionando os resultados de PPO e POD com TCH, pode-se observar que as diferenças estatísticas nas atividades das enzimas PPO e POD, não influenciaram na produção de colmo por hectare, mesmo tendo apresentando grande variação entre os valores obtidos (187,32%). Podendo ser verificada que a eficiência na ativação destas enzimas é diferente entre as variedades de cana-de-açúcar testadas.

Em trabalho realizado por Castro et al. (2012) foi observado que a variedade RB855536 obteve maiores índices de atividade da enzima PPO que o genótipo IAC94-2101, demonstrando ser menos adaptada a restrição hídrica que a primeira. A PPO está relacionada diretamente aos mecanismos de respostas aos fatores desfavoráveis às plantas, como o

estresse hídrico, que pode causar alterações no metabolismo das mesmas (ZHU, 2002; CAVALCANTI et al., 2004).

A PPO é uma enzima catalisadora da reação de oxidação de fenóis em quinonas, atuando sobre os fenóis em meio aeróbico e está localizada nos plastídios (KUWABARA e KATOH, 1999), tal atuação reduz a quantidade de superóxido ( $O_2^-$ ), causador de danos oxidativos nos vegetais, sendo assim, um indicativo de variedades tolerantes a restrição hídrica. No entanto, as respostas podem variar entre cultivares, espécies, tecidos analisados, duração e magnitude do estresse (CAMPOS et al., 2004).

A POD faz parte do grupo das oxidoredutases, que catalisam grande número de reações oxidativas, usando o peróxido como substrato, ou, em alguns casos, o oxigênio como acceptor de hidrogênio, processo este, muito importante para a adaptação das plantas ao estresse hídrico (FREITAS et al., 2008).

Willadino et al. (2011) trabalhando com as variedades RB867515 e RB863125, observaram que o estresse salino provocou aumento na atividade da POD, concluindo que a mesma auxilia na regulação dos níveis de EROs e que as variedades são mais tolerantes ao estresse.

A enzima superóxido dismutase (SOD) têm importante papel na adaptação e sobrevivência de plantas submetidas a estresse, sendo considerada a primeira linha de defesa contra as EROs, dismutando o superóxido ( $O_2^-$ ), para peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) gerando menores níveis de peroxidação lipídica (SCANDALIOS, 2005; AMARO, 2011).

As variedades testadas no presente estudo não apresentaram diferença estatística para atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), indicando que as mesmas possuem capacidades semelhantes em combater as espécies reativas de oxigênio (Tabela 4). O aumento da atividade da SOD está diretamente relacionado a uma maior tolerância, enquanto que sua redução está associada a uma maior sensibilidade ao déficit hídrico (BASU et al., 2010).

Cia et al. (2012) trabalhando com variedades tolerantes (SP83-2847 e SP83-5073) e sensíveis (SP90-3414 e SP90-1638), sob déficit hídrico, obteve resultados semelhantes ao presente trabalho, onde a atividade da enzima SOD permaneceu sem grandes alterações. Entretanto, em trabalho com estresse salino, Gomathi e Rakkiyapan (2011) demonstraram que

a cultivar de cana-de-açúcar mais tolerante obteve atividade da SOD elevada, indicando maior resposta enzimática à medida que o estresse aumenta.

O superóxido produzido em excesso em consequência do estresse ocasionado pela restrição hídrica é extremamente reativo, podendo ser transformado em radical hidroxila (OH), que é o mais nocivo dos radicais, com capacidade de levar a alterações deletérias no metabolismo primário e secundário e mutações, chegando à morte celular e em alta severidade, a morte da planta (VRANOVA et al. 2002).

JAIN et al. (2010), estudando cana-de-açúcar sob estresse, atribuiu à queda de rendimento da cultura, a presença elevada de malonaldeído e ao aumento da atividade da SOD, CAT e POD, desbalanceando a síntese de ácidos nucleicos e apresentando elevados níveis de peróxido.

A enzima catalase (CAT) tem como principal função auxiliar o ciclo ascorbato-glutationa, atuando na desintoxicação causada pelo peróxido de hidrogênio, nas células das plantas (AHMAD et al., 2010). No presente estudo houve diferença estatística para atividade da CAT entre as variedades de cana-de-açúcar testadas, onde as variedades RB92579 e RB72454 apresentaram maior atividade da enzima, demonstrando que esses genótipos se adaptam melhor a condição de restrição hídrica em comparação as demais variedades testadas. A variedade RB931011 obteve menor atividade da enzima CAT, demonstrando ser menos tolerante as condições de estresse hídrico (Tabela 4).

A atividade da CAT vai aumentando de acordo com a quantidade de  $H_2O_2$  dentro das células (SCANDALIONS, 2005). Ainda assim, os valores observados nesta análise foram baixos, devido à cana-de-açúcar ser uma planta  $C_4$ , possuindo atividade de fotorrespiração negligenciável, de modo que as plantas  $C_3$  são mais envolvidas na remoção do  $H_2O_2$  (TOLBERT, et al. 1969).

Em trabalho realizado por Cia et al. (2012) foi observado que as variedades mais sensíveis (SP90-3414 e SP90-1638), quando expostas a estresse hídrico, exibiram menor atividade da CAT comparando com as mais tolerantes. Benesová et al. (2012) observaram que a variedade mais tolerante ao estresse hídrico obteve maior atividade da enzima CAT, e a mais sensível teve redução na atividade desta enzima, corroborando com os resultados observados do estudo supracitado.

As variedades de cana-de-açúcar testadas não diferenciaram estatisticamente quanto ao conteúdo de carboidratos solúveis, apresentando média de  $2,20 \mu\text{mol.g MF}^{-1}$  indicando possível semelhança na capacidade de ajustamento osmótico entre os genótipos testados, com o intuito de evitar maiores perdas de água nos períodos mais críticos de restrição hídrica (Tabela 4).

O aumento dos níveis de carboidrato durante restrição hídrica em variedades de cana-de-açúcar mais tolerantes, provavelmente está associado ao ajuste osmótico, auxiliando diretamente no funcionamento do aparelho fotossintético e na manutenção da abertura estomática, propiciando que a planta desenvolva suas funções em condições de baixo potencial hídrico (HAYAT et al., 2012).

Sales et al. (2012) em estudos com déficit hídrico em cana-de-açúcar demonstrou que os teores de carboidratos solúveis se mantiveram constantes para as variedades testadas, devendo estar atuando na deterioração das reservas de amido da planta. Em trabalhos com estresse hídrico e salino em cana-de-açúcar, Patade et al., (2011) encontrou resultados diferentes dos observados neste estudo, onde houve o aumento nos teores de carboidratos solúveis nas variedades mais sensíveis ao estresse.

A prolina é um dos sinalizadores mais estudados em resposta à restrição hídrica, onde há relatos que sua acumulação mostra ter uma forte correlação com o aumento da tolerância à seca (NEPOMUCENO et al., 2001 e MARIN et al., 2006). As variedades de cana-de-açúcar testadas no presente estudo, não apresentaram diferença estatística quanto ao conteúdo de prolina livre, obtendo média de  $0,24 \mu\text{mol.g MF}^{-1}$ , indicando que as mesmas possuem semelhante sinalização ao estresse hídrico com relação a este osmoregulador.

Queiroz et al. (2011) trabalhando com variedades de cana-de-açúcar sob déficit hídrico, observaram que a variedade RB915155 obteve maiores índices de prolina livre, demonstrando possuir maior adaptabilidade a essa condição de estresse. Guimarães et al. (2008) relataram que as variedades RB72454 e SP801816 apresentaram baixa acumulação de prolina sob déficit hídrico.

A acumulação de prolina no tecido vegetal está associada a uma redução na concentração de íons tóxicos e ao aumento do volume de água no citosol, além de proteger as membranas celulares do estresse oxidativo (AISHARF e FOOLOD, 2007). A prolina age

diminuindo o potencial osmótico e, conseqüentemente, mantendo o potencial hídrico e de turgescência celular perto de níveis adequados, possuindo extrema importância para o crescimento e desenvolvimento dos tecidos vegetais (SERRAJ E SINCLAIR, 2002; KAVI KISHOR et al., 2005).

## 4 CONCLUSÕES

- Entre as variáveis agronômicas avaliadas, apenas o diâmetro do colmo foi capaz de estabelecer diferença estatística entre as variedades testadas;
- De modo geral, as oito variedades de cana-de-açúcar apresentaram excelentes produtividades de colmo;
- A variedade RB72454 apresentou maior diâmetro de colmos entre as variedades testadas;
- O diâmetro do colmo influencia diretamente na produção de colmos por hectare, assim como a recíproca;
- A enzima SOD não foi capaz de diferenciar estatisticamente as variedades de cana-de-açúcar, quanto a maior tolerância ou capacidade adaptativa ao estresse hídrico;
- A variedade RB951541 apresentou maior eficiência na ativação das enzimas PPO e POD, como mecanismo de defesa ao estresse hídrico;
- As variedades RB92579 e RB72454 apresentaram maior eficiência na ativação da CAT em resposta ao estresse hídrico.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL JALEEL, C.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Alterations in osmoregulations, antioxidante enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water defi cit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.59, n. 2, p.150-157, 2007.

AHMAD, M. S. A.; MUHAMMAD ASHRAF; QASIM ALI. Soil salinity as a selection pressure is a key determinant for the evolution of salt tolerance in Blue Panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.). **Flora** (Jena), v 205, n 1 p 37-45, 2010.

AMARO, A. C. E. Efeitos fisiológicos de fungicidas no desenvolvimento de plantas de pepino japonês enxertadas e não enxertadas, cultivadas em ambiente protegido, 2011. 86f. **Dissertação (Mestrado em Horticultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.**

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp> >. Acesso em: 29 jan. 2016.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v 59, p 206-216, 2007.

BAMBER, N. G. I.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**. v 76, p 71–84, jun 2002.

BASU, S.; ROYCHOUDHURY, A.; SAHA, P.; SENGUPTA, D. N. Comparative analysis of some biochemical responses of three indica rice varieties during polyethylene glycol-mediated water stress exhibits distinct varietal differences. **Acta Physiologiae Plantarum**. v 32 p 551–563. 2010.

BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. (Short communication). **Plant and Soil**. v.39, p.205-207, 1973.

BEAUCHAMP, C. E FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assay applicable to acrylamide gels. **Anal Biochem**, v. 44, p. 276–287. 1971.

BENEŠOVÁ, M. et al. The Physiology and Proteomics of Drought Tolerance in Maize: Early Stomatal Closure as a Cause of Lower Tolerance to Short-Term Dehydration? **PLoS ONE**, Cambridge, v 7, n 6, p 1-17, 2012.

CAMPOS, A. D.; FERREIRA, A. G.; HAMPE, M. M. V.; ANTUNES, I. F.; BRANÇÃO, N.; SILVEIRA, E. P. DA; OSÓRIO, V. A.; AUGUSTIN, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.637-643, 2004.

CARDOSO, M. DAS G. Produção de aguardente de cana-de-açúcar. 2 ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 344 p.

CASTRO, G. H. O.; SILVA NETO, H. F. da; TASSO JÚNIOR, L. C. ; MARQUES, M. O. Atividade da enzima polifenoloxidase em caldo de diferentes partes do colmo de cultivares de cana-de-açúcar (RB855536 E IAC94-2101) **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 4, 2012.

CAVALCANTI, F. R. et al. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. **New Phytologist**, v. 163, p. 563-571, 2004.

CIA M. C.; GUIMARÃES A. C. R.; MEDICI L. O.; CHABREGAS S. M.; AZEVEDO R. A. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and sensitive sugarcane varieties. **Ann Appl Biol**. **161**, 313–324, 2012.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira – cana-de-acucar. Safra 2015/16 – Terceiro Levantamento. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília, v 2, n 3, p. 1-65, dez. 2015.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L; FERREIRA, D. T. da R. G.; GONÇALVES, E. R. CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NO QUARTO CICLO DE CULTIVO. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 56-63, jul.-set., 2011.

DAT, J.; VANDENABEELE, S.; VRANOVÁ, E.; VAN MONTAGU, M.; INZÉ, D.; VAN BREUSEGEM, F. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v.57, p 779-795, 2000.

DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C.R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 45, p 1149-1156, 2010.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

ECCO, M.; SANTIAGO, E. F.; LIMA, P. R. Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. **Comunicata Scientiae**. Bom Jesus, v 5, n 1, p 59-67, Jan./Mar, 2014.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, p. 1056, 2005.

FREITAS, A. A.; FRANCELIN, M. F.; HIRATA, G. F.; CLEMENTE, E.; SCHMIDT, F. L. Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares benitaka e rubi e em seus sucos e geléias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v 28, n 1, p 172-177, 2008.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p 309-314, 1977.

GILL, S. S.; TUTEJA N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**. v 48, p 909-930, 2010.

GOMATHI, R.; RAKKIYAPAN, P. Comparative lipid peroxidation, leaf membrane thermostability, and antioxidant system in four sugarcane genotypes differing in salt tolerance. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**. Ilhas Vitória, v 3, n 4, p 67-74, 2011.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 481 - 494, 2005.

GRENNAN, A. K. Abiotic stress in rice. An “Omic” approach. **Plant Physiology**. Illinois, v 140, n 4, p 1139-1141, 2006.

GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C.; SILVA, J. A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v 65, n 6, p 628-633, 2008.

HAVIR, E. A. E MCHALE, N. A. Biochemical and development characterization of multiples forms of catalase in Tobacco-Leaves. **Plant Physiology**, v 84, n 2, p 450-455, 1987.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI M. N.; AHMAD, A. Salicylic acid enhances the efficiency of nitrogen fixation and assimilation in *Cicer arietinum* plants grown under cadmium stress. **J Plant Interact**. v 9, p 35-42, 2012.

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

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Cavalcanti, F. J. A. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. 2.ed. Cavalcanti, F. J. A. (ed.). 2ª aproximação, Recife: **IPA**, 198p. 1998.

JAIN, R., SRIVASTAVA, S., SOLOMON, S., SHRIVASTAVA, A. K., CHANDRA, A. Impact of excess zinc on growth parameters, cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (*Saccharum spp.*). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, n. 5, p. 979-986, 2010.

KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**. Columbus, v 88, n 3, p 424-438, 2005.

KUWABARA, T.; KATOH, Y. Involvement of the binuclear copper site in the proteolytic activity of polyphenol oxidase. **Plant Cell Physiology**, v. 40, n. 10, p. 1029-1035, 1999.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A. C. M; XAVIER, M. A.; BIDOIA, M. A. P.; PRADO, H.; SILVA, M. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SANTOS, A. S.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D. N.; MARTINS, A. L. M; GALLO, P. B.; KANTACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; ANJOS, I. A; AZANIA, C. A. M.; PINTO, L. R.; SOUZA, S. A. C. D. Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil. Campinas: **Instituto Agrônomo**, (Boletim Técnico, 197). 33p. 2005.

LIMA, D. A. The Caatingas Dominion. *Revista Brasileira de Botânica*. 4: p.149-163. 1981.

MARIN, A.; SANTOS, D. M. M.; BANZATTO, D. A.; CODOGNOTO, L. M. Influence of water availability and soil acidity on the level of free proline in pigeon pea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 41, p 355-358, 2006.

MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. A. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no programa Cana IAC. Pindorama: **Instituto Agrônomo**, p 2-14,1995.

MARTINS, P. F.; CARVALHO, G.; GRATÃO, P. L.; DOURADO, M. N.; PILEGGI, M.; ARAÚJO, W. L.; AZEVEDO, R. A. Effects of the herbicides acetochlor and metolachlor on antioxidant enzymes in soil bacteria. *Process Biochemistry*, v. 46, p. 1186–1195, 2011.

MEDICI, L. O.; AZEVEDO, R. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, A. T.; PIMENTEL, C. Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 4, p. 599-601, 2007.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v 7, n 9, p 405-410, 2002.

NEPOMUCENO, A. L. NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 4, n. 23, p. 12-18, 2001.

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

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; WALKER, A. M. Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições semiáridas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v 8, número especial (IV SMUD), p 525-541, 2015.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. de; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T. da; CARVALHO, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v 46, n 6, p 617-625, jun. 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. da. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 34, n 4, p 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I. de; ANDRADE, B. M. T. de; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 14, n 9, p 951-960, 2010.

OLIVEIRA, J. F. N. C. de. Caracterização fisiológica e perfil de expressão gênica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) contrastantes para o déficit hídrico. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 327 p, 2012.

PATADE, V. P.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense, **Journal of Plant Interactions**. v 6, n 4, p 275-282, 2011.

PENNYCOOKE, J. C.; COX, S.; STUSHNOFF, J. C. Relationship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia x hybrid*). **Environmental and Experimental Botany**, New York, v. 53, p. 225-232, 2005.

PEREIRA JUNIOR, J. S. Nova delimitação do semiárido brasileiro. Biblioteca Digital da Câmara do Deputados. Centro de Documentação e Informação. Brasília, DF. 24 p. 2007.

PINCELLI, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, 78 f., 2010.

QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M.; FERRAUDO, A. S.; CARLIN, S. D.; SILVA, M. A. S. Biochemical and physiological responses of sugarcane cultivars to soil water deficiencies. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v 68, n 4, p 469-476, July/August 2011.

REIS, R. R. Plantas de cana-de-açúcar transformadas com *ZmRab17:: AtDREB2A CA* para tolerância a seca. Lavras: UFLA, 2013. 126 p.: il. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

RHEIN, A. F. de L.; CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. dos. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v 32, n 4, p 1345-1360, out./dez. 2011.

RIDESA. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. **Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro**. Curitiba, 2010. 136 p. il.

ROCHA, F. R.; PAPINI-TERZI, F. S.; NISHIYAMA-JUNIOR, M. Y.; VENCIO, R. Z. N.; VICENTINI, R.; DUARTE, R.; VINAGRE, F.; MEDEIROS, A.; DI MAURO, S. M. Z.; ULIAN, E. C.; DE ROSA JUNIOR, V. E.; HEMERLY, A. S.; FIGUEIRA, A.. SILVA-FILHO, M. C.; MENOSSI, M.; SOUZA, G. M. Signal transduction-related responses to phytohormones and environmental challenges in sugarcane. **BMC Genomics**. London, v 8, p 71, 2007.

SALES, C. R. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, R. S.; DOVIS, V. L.; LAGÔA, A. M. M. A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantia**, v.71, p.319-327, 2012.

SANKAR, B.; ABDUL JALEEL, C.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water-limited conditions. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v 62, p 125–129. 2008.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazil Journal of Medical Biological Research**. Ribeirão Preto, v 38, p 995–1014, 2005.

SCARPARI, M. S., BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v 67, p 35-41. 2008.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions. **Plant, Cell and Environment**, v 25, p 333-341, 2002.

SHIGEOKA, S. et al. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 53, n. 372, p. 1305-1319, 2002.

SILVA, E. **Estudos da atividade enzimática da polifenoloxidase e da peroxidase em algumas frutas e hortaliças *in natura* e processadas**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba. 108 p, 1981.

SILVA, G. C.; OLIVEIRA, FRANCISCO J. DE; ANUNCIACÃO FILHO, CLODOALDO J. DA; SIMÕES NETO, DJALMA E.; MELO, LUIZ J. O. T. DE. Divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v 6, n 1, p 52-58, 2011.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v 65, n 6, p 620-627, 2008.

SILVA, S. L. F. da. Mecanismos de proteção oxidativa contra estresses isolados e combinados de seca, salinidade e temperatura elevada em cajueiro. (Tese de Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 174 p, 2008.

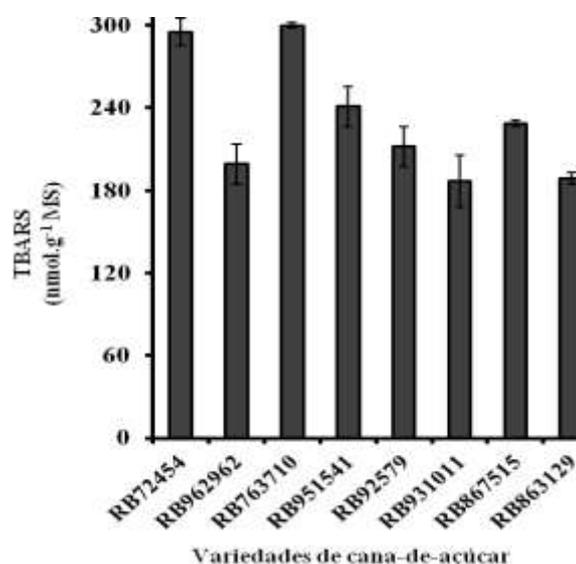
SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; F. JÚNIOR, W. G. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 16, n 1, p 64-71, 2012.

SIMÕES, A. N.; MOREIRA, S. I.; MOSQUIM, P. R.; SOARES, N. F. F.; PUSCHMANN, R. Effect of conservation temperature on quality and phenolic metabolism of intact and minimally processed kale leaves. **Acta Scientiarum**, v 37, n 1, p 101-107, 2015.

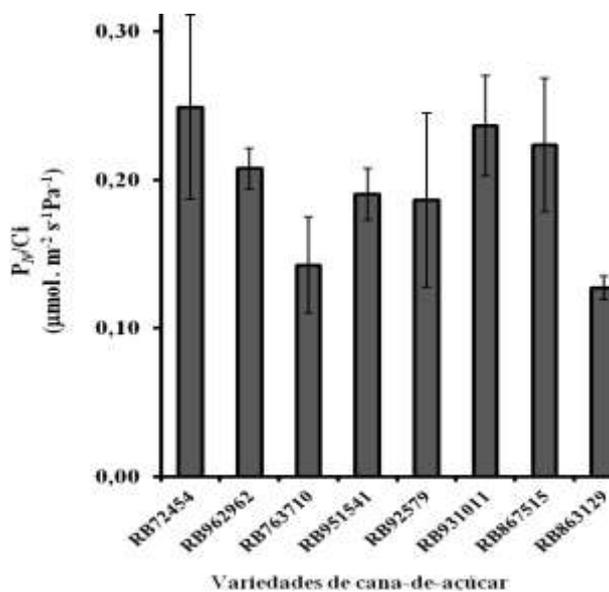
TAHMASEBI, A.; ARAM, F.; EBRAHIMI, M.; MOHAMMADI-DEHCHESHMEH, M.; EBRAHIMIE, E. Genome-wide analysis of cytosolic and chloroplastic isoforms of glutathione reductase in plant cells. **Plant Omics**, v 5, n 2, p 94-102, 2012.

- TOLBERT, N. E.; OESER, A.; YAMAZAKI, R. K.; HAGEMAN, R. H.; KISAKI, T. A survey of plants for leaf peroxisomes. **Plant Physiology**. Rockvile, v 44, p 135-147, 1969.
- TUBEROSA, R.; SALVI, S. Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. **Trends in Plant Science**. Kidlington v 11, p 405-412, 2006.
- UZILDAY, I. TURKAN, A. H. SEKMEN, R. OZGUR, H. C. KARAKAYA, H. C. Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C4) and *Cleome spinosa* (C3) under drought stress, **Plant Sci.**, v 182, p 59-70, 2012.
- VIANNA, M. dos S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de deficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v 49, n 4, p 237-246, abril 2014.
- VRANOVA, E.; ATICHARTPONGKUL, S.; VILLARROEL, R.; VAN MONTAGU, M.; INZE, D.; VAN CAMP, W. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress. **Proc Natl Acad Sci, USA** 99: 10870–10875, 2002.
- WILLADINO, L.; FILHO, R. A. O.; JUNIOR, E. A. S.; NETO, A. G.; CAMARA, T. R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 417-422, 2011.
- ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Reviews Plant Biology**, v. 53, p. 247-273, 2002.

## 6 APÊNDICE



**Figura 2.** Peroxidação lipídica (TBARS) de folhas, pelo método de HEATH & PACKER (1968), em oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015. As barra verticais representam o desvio padrão.



**Figura 3.** Eficiência de carboxilação (PN/Ci), em oito variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob restrição hídrica, no sítio Carro Quebrado, distrito de Canaã, município de Triunfo – PE, no período de fevereiro a outubro de 2015. As barra verticais representam o desvio padrão.