



UFRPE

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MELHORAMENTO GENÉTICO DE
PLANTAS

NIVALDO CORREIA DE ANDRADE NETO

**COMPARAÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR DURANTE A FASE DE
ESTABELECIMENTO EM CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO**

RECIFE

2017

NIVALDO CORREIA DE ANDRADE NETO

COMPARAÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR DURANTE A FASE DE ESTABELECIMENTO EM CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas da UFRPE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia na área de Melhoramento Genético de Plantas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Terezinha Rangel Camara

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Lilia Gomes Willadino

RECIFE

2017

Ficha Catalográfica

A553c Andrade Neto, Nivaldo Correia de
Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de estabelecimento em cultivo irrigado e sequeiro / Nivaldo Correia de Andrade Neto. – 2017.
112 f. : il.

Orientadora: Terezinha Rangel Camara.
Coorientadora: Lilia Gomes Willadino.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Planta, Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Saccharum 2. Déficit hídrico 3. Sistema antioxidativo 4. Adaptabilidade
5. Estabilidade I. Camara, Terezinha Rangel, orient. II. Willadino, Lilia Gomes,
coorient.
III. Título

CDD 581.15

NIVALDO CORREIA DE ANDRADE NETO

COMPARAÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR DURANTE A FASE DE ESTABELECIMENTO EM CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO

Dissertação defendida e aprovada em: 20/01/2017.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Terezinha Rangel Camara

Examinadores:

Prof^o. Dr^o. Gerson Quirino Bastos

Prof^a. Dr^a. Gemima Manço de Melo

Recife, 20 de janeiro de 2017

“A grandeza vem não quando as coisas sempre vão bem para você, mas a grandeza vem quando você é realmente testado”

Richard Milhous Nixon

A todos que contribuíram para o meu crescimento tanto profissional quanto pessoal

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS Todo Poderoso pelo seu imenso amor e bondade, não só para mim, mas para todos que me rodeiam, pois sem Ele não teria chegado até onde estou; também por me conceder uma família abençoada, e amigos valorosos. Agradeço aos meus pais, MARCELO CORREIA DE ANDRADE e FLÁVIA SANTOS DE ANDRADE, por serem tão amorosos, zelosos e companheiros, por fazerem todo o possível para me ajudar na minha jornada acadêmica e profissional, também sou grato ao meu irmão TÚLIO FLÁVIO SANTOS DE ANDRADE, por me ajudar em tudo que precisei.

A minha Professora Orientadora, TEREZINHA CAMARA e Coorientadora LILIA WILLADINO por me mostrarem o caminho para alcançar o meu sonho de me tornar Mestre em melhoramento Genético de Plantas, a todos os meus amigos do LCTV, Marta, Lindomar, Rodolfo, Wellington, Neto, e companhia.

Aos meus primos e primas, que estão mais para irmãos e irmãs, por me proporcionarem momentos de descontração e união familiar, aos meus tios e tias por também me acompanharem nessa jornada e em tantas outras.

Aos integrantes do Programa de Pós Graduação em Melhoramento Genético de Plantas da UFRPE, tanto aos Professores quanto aos alunos, pude formar boas amizades, como o Professor Gerson Quirino, José Luís e Francisco José, e ao Pedro Henrique que me ajuda muito no projeto de pesquisa e na formação profissional.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) por possibilitar o meu crescimento profissional desde a graduação e ao Centro de Apoio à Pesquisa (CENAPESQ). À Miriri Alimentos, por conceder o local para a pesquisa em campo, em especial ao Dr. Carlos Henrique.

São muitos a quem quero agradecer, tantos que não caberiam neste texto. Mesmo aqueles que não foram citados aqui, quero que saibam que não foram esquecidos, muito pelo contrário, estarão sempre em minhas boas lembranças.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

Resumo

Esta pesquisa objetivou avaliar a resposta de quatro variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na fase formativa da cultura submetidas a dois regimes hídricos, irrigado e em sequeiro, e simultaneamente identificar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Variedades que possuem maior adaptação as condições de podem representar ganhos de até 30% na produtividade agroindustrial dos canaviais, de modo que para cada tipo de sistemas de cultivos existem genótipos mais adaptados, por isso as pesquisas com o objetivo de identificar variedades mais tolerantes ao estresse hídrico. Fatores ambientais como a escassez hídrica, é um problema que afeta boa parte das áreas cultivadas no mundo, principalmente as situadas em regiões semiáridas, reduzindo o crescimento e a produção vegetal, provocando prejuízos socioeconômicos. A deficiência hídrica compromete o metabolismo e, conseqüentemente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Evidências apontam que a seca provoca o estresse oxidativo, como resultado da formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), produzindo radicais como superóxido ($*O_2^-$), o radical hidroxila ($*OH^-$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singleto (1O_2). Essas EROs são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético onde são mantidas em concentrações conciliáveis à homeostase celular, entretanto, o excesso dessas EROs provocam lesões oxidativas em proteínas, lipídeos e ácidos nucléicos o que caracteriza o estresse oxidativo. Visando reduzir os danos citotóxicos dos ROS, as plantas desencatam um complexo sistema antioxidativo onde enzimas específicas neutralizam a ação desses radicais, entre eles podem ser mencionados o ascorbato peroxidase (APX. EC 1.11.1.11) e a catalase (CAT. EC 1.11.1.6). Como se sabe, em sua grande maioria, os genótipos apresentam comportamentos diferenciados em relação aos distintos ambientes de cultivo. Por conta disso, é fundamental a identificação de genótipos de comportamento previsível e responsivos às alterações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo. É muito importante a identificação de genótipos que apresentem comportamento previsível e que respondam às alterações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo. O melhoramento convencional é ainda hoje o principal meio de obtenção de variedades melhoradas. A busca de variedades com ampla adaptabilidade e boa estabilidade envolve o uso de métodos que possam proporcionar estimativas mais precisas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, de modo que a metodologia de avaliação seja de fácil de se interpretar, utilizando-se de poucas estatísticas, mas que seja confiável e que possa ser usada tanto para pequeno quanto para grande número de ambientes. O experimento foi realizado na microrregião canavieira da Miriri Alimentos e Bioenergia S/A, em Santa Rita

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

(PB). O delineamento estatístico utilizado foi em fatorial envolvendo 4 variedades e 2 regimes hídricos, a pesquisa foi conduzida até os 150 dias após o plantio (DAP), avaliaram-se os dados biométricos, o índice de área foliar (AF), altura do colmo (AC), número de colmos por metro linear (NC) e o diâmetro do colmo (DC) e para os parâmetros de tolerância ao estresse oxidativo, determinaram-se as atividades do sistema antioxidativo, ascorbato peroxidase (APX), e catalase (CAT), os teores da espécie reativa de oxigênio (ERO), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e de malondialdeído (MDA). Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, realizou-se a metodologia baseada na análise de variância conjunta dos experimentos, considerando todos os ambientes e o posterior desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e da interação genótipos x ambientes, tendo a vantagem de auxiliar na recomendação das variedades observando o risco de apresentarem desempenho abaixo de um dado padrão, como a média geral, onde quanto maior for o índice de confiança da variedade, menor será sua probabilidade de insucesso. Para os parâmetros biométricos, as variedades RB867515 e RB92579 apresentaram maiores médias ao decorrer da pesquisa, onde também mostraram alta eficiência quanto ao sistema antioxidativo, ou seja, para as enzimas CAT e APX, havendo redução nos teores de H_2O_2 e conseqüentemente de MDA. Essas mesmas variedades também apresentaram maiores índices de estabilidade, assim também pode-se constatar que o regime irrigado como sendo a condição hídrica mais favorável ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. Tanto a variedade RB867515 quanto a RB92579, comprovaram seu alto desempenho em relação ao desenvolvimento, comprovando a preferência pelo uso dessas variedades no mercado canavieiro da região Nordeste.

Palavras chaves: *Saccharum*, Déficit hídrico, Sistema antioxidativo, Adaptabilidade, Estabilidade.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the response of four sugarcane varieties (*Saccharum spp.*) in the formative phase of the crop submitted to two irrigated and irrigated water regimes, while simultaneously identifying the parameters of adaptability and phenotypic stability. Varieties that have a better adaptation to the conditions can represent gains of up to 30% in the agribusiness productivity of the sugarcane plantations, so that for each type of cropping system there are more adapted genotypes, so the researches with the objective of identifying varieties more tolerant to stress Water. Environmental factors such as water scarcity is a problem that affects many of the world's cultivated areas, especially those located in semi-arid regions, reducing plant growth and production, causing socioeconomic losses. Water deficiency compromises the metabolism and, consequently, the growth, development and productivity of the crop. Evidence indicates that drought causes oxidative stress, as a result of the formation of reactive oxygen species (ROS), producing radicals such as superoxide (*O_2^-), hydroxyl radical (*OH^-), hydrogen peroxide (H_2O_2), and Singlet oxygen ($^1\text{O}_2$). These ROS are byproducts of aerobic and photosynthetic metabolism where they are maintained at concentrations compatible with cellular homeostasis, however, the excess of these ROS cause oxidative damage in proteins, lipids and nucleic acids, which characterizes oxidative stress. In order to reduce the cytotoxic damages of ROS, the plants disentangle a complex antioxidative system where specific enzymes neutralize the action of these radicals, among them ascorbate peroxidase (APX, EC 1.11.1.11) and catalase (CAT EC 1.11.1.6). As is known, the great majority of genotypes present different behaviors in relation to the different cultivation environments. Because of this, it is essential to identify genotypes of predictable behavior and responsive to environmental changes for broad or crop specific conditions. It is very important to identify genotypes that show predictable behavior and respond to environmental changes for broad or crop specific conditions. Conventional breeding is still the main means of obtaining improved varieties. The search for varieties with broad adaptability and good stability involves the use of methods that can provide more accurate estimates of the parameters of adaptability and stability, so that the evaluation methodology is easy to interpret, using few statistics, but That is reliable and can be used for both small and large environments. The experiment was carried out by the sugarcane microregion of Miriri Alimentos and Bioenergia S / A, in Santa Rita (PB). The statistical design used was in a factorial involving 4 varieties and 2 water regimes, the research was conducted up to 150 days after planting (DAP), biometric data, leaf area index (FF), stem

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

height (AC), number of stems per linear meter (NC) and stem diameter (DC) and for oxidative stress tolerance parameters, the activities of the antioxidative system, ascorbate peroxidase (APX), and catalase (CAT), The contents of the reactive oxygen species (ROS), hydrogen peroxide (H_2O_2) and malondialdehyde (MDA). For the evaluation of the adaptability and stability, the methodology was based on the analysis of joint variance of the experiments, considering all the environments and the posterior unfolding of the sum of squares of the effects of environments and interaction genotypes x environments, having the advantage of auxiliary In the recommendation of the varieties, observing the risk of performance below a given standard, such as the general average, where the higher the variety confidence index, the lower its likelihood of failure. For the biometric parameters, the RB867515 and RB92579 varieties presented higher averages during the research, where they also showed high efficiency in the antioxidative system, that is, for the CAT and APX enzymes, with a reduction in H_2O_2 and consequently MDA levels. These same varieties also presented higher stability indices, so it can also be verified that the irrigated regime as the water condition more favorable to the development of sugarcane. Both the RB867515 and RB92579 varieties, have proven their high performance in relation to development, proving the preference for the use of these varieties in the sugar cane market of the Northeast region.

Keywords: *Saccharum*, Water deficit, Antioxidative system, Adaptability, Stability.

LISTA DE FIGURAS**CAPÍTULO I**

Figura 1. Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	22
Figura 2. Genealogia da RB867515.....	25
Figura 3. Genealogia da RB92579.....	26
Figura 4. Genealogia da RB931011.....	27
Figura 5. Papel das Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) na lesão celular.....	32

CAPÍTULO II

Figura 1. Índice de pluviometria obtido pela estação agrometeorológica da Miriri Alimentos.....	63
--	----

CAPÍTULO III

Figura 1. Índice de pluviometria obtido pela estação agrometeorológica da Miriri Alimentos.....	92
--	----

APÊNDICES

Figura 1. Localização da empresa Miriri Alimentos e Bioenergia S.A.....	106
Figura 2. Material utilizado para obtenção dos dados biométricos em A; coleta de dados de Índice de Área Foliar (AF) em B e C; altura do colmo (AC) em D; número de colmos por metro linear(NC) em E; e diâmetro do colmo (DC) em F.....	107
Figura 3. Coleta de amostras de tecido foliar de cana-de-açúcar realizadas na Miriri Alimentos.....	108
Figura 4. Procedimentos para a preparação do extrato vegetal para a determinação da atividade enzimática para catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX).....	109
Figura 5. Procedimentos para a realização da leitura da ação enzimática da catalase (CAT) em espectrofotômetro.....	110
Figura 6. Procedimentos para a realização da leitura da ação enzimática do ascorbato peroxidase (APX) em espectrofotômetro.....	110
Figura 7. Obtenção do extrato vegetal para determinação dos teores de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂).....	111
Figura 8. Procedimentos realizados no LCTV para a determinação de malondialdeído (MDA).....	111

Figura 9. Procedimentos realizados no LCTV para a determinação de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂).....	112
---	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1. Resumo da análise de variância para o índice de área foliar (AF) em cm ² , nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	63
Tabela 2. Índice de área foliar (AF) em cm ² , de quatro variedades de cana-de-açúcar (G) cultivados em dois regimes hídricos (Rh), aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).....	64
Tabela 3. Resumo da análise de variância para a altura do colmo (AC) em cm, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	64
Tabela 4. Altura do colmo (AC) em cm, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos (Rh), aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).....	65
Tabela 5. Resumo da análise de variância para o Número de colmos (NC) em colmos/ m, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	65
Tabela 6. Número de colmos (NC) em colmos/ m, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar em função dos fatores isolados (genótipo e regime hídrico), aos 60 e 90 dias após o plantio (DAP).....	66
Tabela 7. Número de colmos (NC) em colmos/ m, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos (Rh), aos 120 e 150 dias após o plantio (DAP).....	66
Tabela 8. Resumo da análise de variância para o Diâmetro do colmo (DC) em cm, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	67
Tabela 9. Diâmetro do colmo (DC) em cm, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos (Rh) aos 90 dias após o plantio (DAP).....	67

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 10. Resumo da análise de variância para a atividade da catalase (CAT) em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e em sequeiro).....	68
Tabela 11. Atividade da catalase (CAT) em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$ de quatro genótipos de cana-de-açúcar aos 90 dias após o plantio (DAP) em dois regimes hídricos.....	68
Tabela 12. Atividade da catalase (CAT) em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, de quatro genótipos de cana-de-açúcar aos 60, 120 e 150 dias após o plantio (DAP) em dois regimes hídricos.....	69
Tabela 13. Resumo da análise de variância para o ascorbato peroxidase (APX) em $\mu\text{mol AsA mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	69
Tabela 14. Atividade do ascorbato peroxidase (APX) em $\mu\text{mol AsA mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, de quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos, aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).....	70
Tabela 15. Resumo da análise de variância para os teores de malondialdeído (MDA) em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	70
Tabela 16. Teores de malondialdeído (MDA) em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$, dos quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos, aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).....	71
Tabela 17. Resumo da análise de variância para os teores de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).....	71
Tabela 18. Teores de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$, de quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos, aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).....	72

CAPÍTULO III

Tabela 1. Resumo da análise de variância aos 60 DAP para os caracteres índice de área foliar ($\text{AF} - \text{cm}^2$), altura do colmo ($\text{AC} - \text{cm}$), número de colmos ($\text{NC} - \text{colmos/m}$), e diâmetro do colmo ($\text{DC} - \text{cm}$), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).....	92
--	----

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

- Tabela 2.** Índices ambientais aos 60 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.....93
- Tabela 3.** Índices de confiança (Wi) aos 60 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).....93
- Tabela 4.** Resumo da análise de variância aos 90 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).....94
- Tabela 5.** Índices ambientais aos 90 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.....94
- Tabela 6.** Índices de confiança (Wi) aos 90 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).....95
- Tabela 7.** Resumo da análise de variância aos 120 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).....95
- Tabela 8.** Índices ambientais aos 120 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.....96
- Tabela 9.** Índices de confiança (Wi) aos 120 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).....96
- Tabela 10.** Resumo da análise de variância aos 150 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).....97

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 11. Índices ambientais aos 150 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.....97

Tabela 12. Índices de confiança (Wi) aos 120 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).....98

APÊNDICES

Tabela 1. Croqui do experimento de avaliação de quatro variedades de cana-de-açúcar com irrigação para suprimento de 50% da demanda hídrica e em sequeiro.....105

Tabela 2. Análise de variância (ANAVA) resumida para dois fatores: quatro genótipos e dois Regimes hídricos (irrigado e sequeiro).....105

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO I

Equação 1. Conversão do peróxido de hidrogênio a água pela enzima ascorbato peroxidase (APX) através da oxidação do ácido ascórbico.32

Equação 2. Reação de conversão do peróxido de hidrogênio e oxigênio e água pela enzima catalase (CAT).....33

CAPÍTULO II

Equação 1. Modelo estatístico utilizado para análise fatorial.....51

CAPÍTULO III

Equação 1. Modelo estatístico utilizado para análise fatorial.....87

Equação 2. Expressão para determinação do Índice de confiança para adaptabilidade e estabilidade.....87

LISTA DE ABREVIATURAS

AF – Índice de área foliar

AC – Altura do colmo

APX –Ascorbato peroxidase.

AsA – Ácido ascórbico

BSA – Albumina de soro bovino (Bovine serum albumin)

CAT – Catalase

$C_6H_8O_6$ – Ácido ascórbico

CV - Coeficiente de variação

DAP – Dias após o plantio

DC – Diâmetro do colmo

DMSa – Diferença média significativa entre os ambientes

DMSg – Diferença média significativa entre os genótipos

EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético

ERO – Espécies reativas de oxigênio

GL – Grau de liberdade

GxA – Interação genótipo x ambiente

GxRh – Interação genótipo x recurso hídrico

H_2O_2 – Peróxido de hidrogênio

KH_2PO_4 – Fosfato de potássio monobásico

KI – Iodeto de potássio

LCTV - Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais

MDA – Malodialdeído

MF – Matéria fresca

NC – Número de colmos

O_2 – Oxigênio molecular

1O_2 – Oxigênio singleto

$*O_2^-$ – Radical superóxido

$*OH^-$ – Radical hidroxila

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro

SOD – Superóxido dismutase

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Wi – Índice de confiança

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	20
INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA	21
Cana-de-açúcar e demanda hídrica.....	21
Variedades estudadas.....	24
RB992587.....	24
RB867515.....	24
RB92579.....	25
RB931011.....	26
Aspectos do melhoramento genético.....	27
Melhoramento genético da cana-de-açúcar	28
Estresse hídrico.....	29
Espécies Reativas de Oxigênio – EROs	31
Adaptabilidade e estabilidade.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO II.....	44
COMPARAÇÕES BIOMÉTRICAS E BIOQUÍMICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS FASES INICIAIS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS	44
RESUMO	46
ABSTRACT	47
INTRODUÇÃO.....	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
Elaboração da pesquisa.....	49
Coleta das amostras e dados biométricos	50
Obtenção do extrato vegetal para análises enzimáticas.....	52
Determinação da atividade enzimática	52
Obtenção do extrato vegetal para análises dos metabólitos do sistema antioxidativo malondialdeído e peróxido de hidrogênio	53

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...	
Determinação dos teores de malondialdeído	53
Determinação dos teores de peróxido de hidrogênio	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
Índice de área foliar	54
Altura do colmo	54
Número de colmos.....	55
Diâmetro do colmo	56
Atividade da catalase	57
Atividade do ascorbato peroxidase.....	57
Relação biometria X atividade enzimática	58
Teores de malondialdeído.....	59
Teores de peróxido de hidrogênio	60
Relação sistema antioxidante X EROs	61
CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
CAPÍTULO III	79
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS FASES DE ESTABELECIMENTO EM CONDIÇÕES HÍDRICAS DISTINTAS	79
RESUMO	81
ABSTRACT	82
INTRODUÇÃO.....	83
MATERIAIS E MÉTODOS.....	85
Preparação da pesquisa.....	85
Coleta dos dados biométricos	86
RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
Adaptabilidade e estabilidade aos 60 DAP.....	88
Adaptabilidade e estabilidade aos 90 DAP.....	89

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...	
Adaptabilidade e estabilidade aos 120 DAP.....	89
Adaptabilidade e estabilidade aos 150 DAP.....	90
CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
APÊNDICES	104

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

Cana-de-açúcar e demanda hídrica

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma planta alógama, da família *Gramineae* (*Poaceae*), tribo *Andropogoneae*, gênero *Saccharum* foi cultivada inicialmente na Ásia e Índia e introduzida no Brasil na época colonial (SCHNEIDER et al. 2012)., em épocas pré-históricas (anterior a 2.500 a.C.) a cultura foi domesticada pelos nativos, tanto para a construção de cercados como para apreciação do seu caldo adocicado e posteriormente difundido com as migrações daqueles povos para as ilhas do Pacífico Sul, Índia e China entre 1.500 a 1.000 a.C. (MATSUOKA et al., 2005), .

No final do século XIX e o início do XX houve no Brasil e no exterior o aumento crescente das preocupações no setor açucareiro, no exterior e no Brasil, tanto com a baixa produtividade dos canaviais e epidemias de doenças quanto com a melhoria da qualidade das canas, posteriormente passou a ocorrer intenso intercâmbio de tipos de tipos de cana entre os países, especialmente por iniciativa de proprietários de engenhos, onde no Brasil, foram os pioneiros na criação de novas variedades

A cultura se desenvolve formando touceiras, a parte aérea é formada por colmos (caule típico das gramíneas, rico em reservas nutritivas, provido de nós e entrenós), folhas, inflorescência do tipo panícula e frutos do tipo cariopse, a parte subterrânea, por sua vez, é formada por raízes e rizomas. (SILVA & SILVA, 2012). No Brasil as variações climáticas possibilitam duas épocas de colheita anual. Desta forma, apesar da sua grande adaptação às condições climáticas, a cana-de-açúcar apresenta melhores condições quando ocorrer período quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento, seguido por um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação e colheita (Correia et al., 2014).

No Brasil, a cana-de-açúcar possui grande importância, visto que a espécie é cultivada em mais de cinco milhões de hectares para a produção especialmente de açúcar e álcool (CONAB, 2016), o país também é o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar, possuindo dois calendários de colheita, um para a Região Nordeste, que vai de setembro a abril e outro para o restante do país, de maio a janeiro (CONAB, 2016).

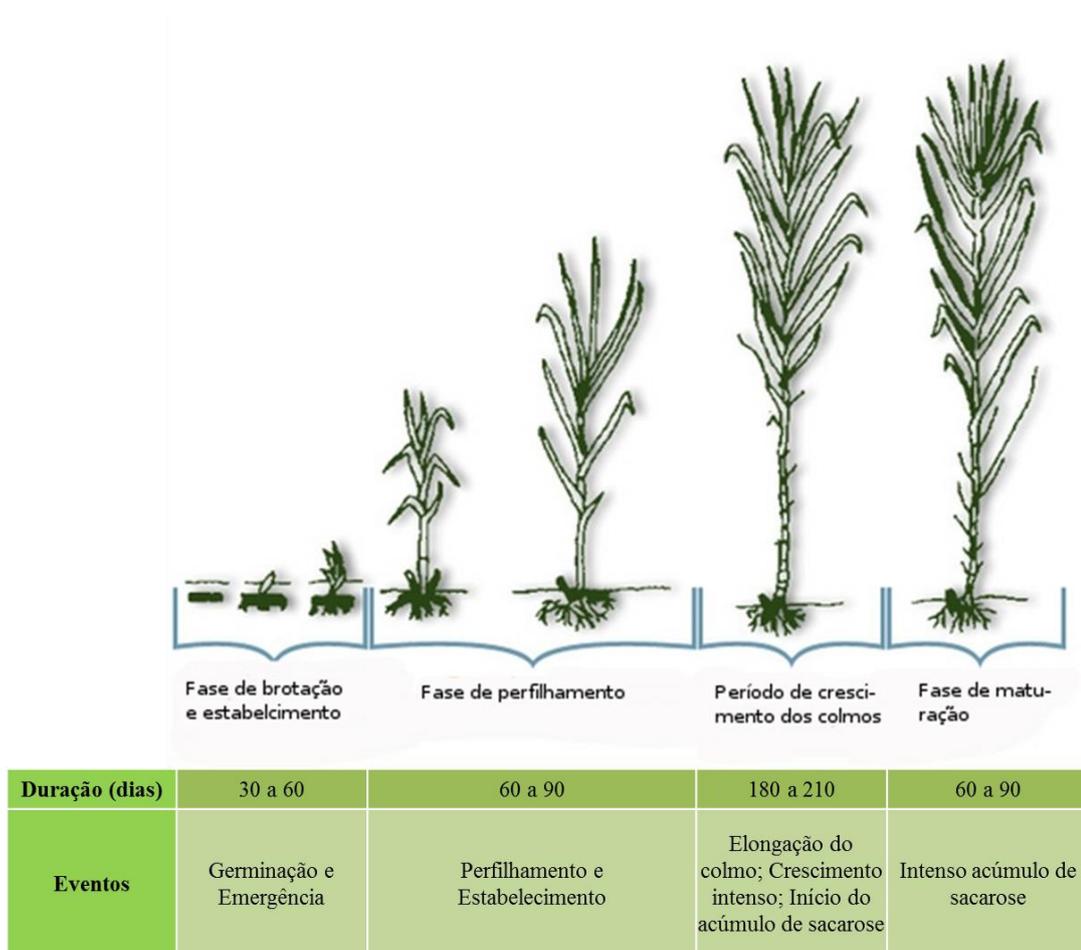
A cultura também vem contribuindo para a redução da poluição ambiental por combustíveis fósseis, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar e de seus produtos e subprodutos torna-se uma fonte relevante de distribuição e riqueza e de bem estar para diversas

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

comunidades interioranas brasileiras, contribuindo para a diminuição do êxodo para as metrópoles e dos seus consequentes problemas sociais (MATSUOKA et al., 2005).

O conhecimento da variação dos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar durante o seu ciclo é fundamental para que se possa modelar e quantificar o crescimento das plantas nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (MARAFON, 2012).

Figura 1. Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar.



Fonte: GASCHO & SHIH (1983).

Variedades mais adaptadas aos sistemas de produção (cultivo de sequeiro ou irrigado) podem representar ganhos de até 30% na produtividade agroindustrial dos canaviais, de modo que para cada tipo de sistemas de cultivos existem genótipos mais adaptados, por isso as pesquisas com a finalidade de identificar variedades mais rústicas e resistentes ao estresse hídrico (HOLANDA et al. 2014). Fatores ambientais como a escassez hídrica, é um problema que afeta boa parte das áreas cultivadas no mundo, principalmente as situadas em regiões

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

semiáridas, reduzindo o crescimento e a produção vegetal, o que provoca prejuízos socioeconômicos (GONÇALVES et al., 2010).

A agricultura necessita de grandes quantidades de água para suprir as necessidades das plantas. Dentre os cultivos irrigados, destaca-se a cana-de-açúcar, por suas características responsivas à irrigação (OLIVEIRA et al., 2015). O acúmulo de biomassa pela cana-de-açúcar ocorre mediante a interação da cultura com fatores do ambiente, sendo a planta um integrador dos estímulos ambientais, para melhor compreensão dessas interações, pode-se valer do uso de análises quantitativas do crescimento. Essas medidas, durante a etapa de crescimento da cultura, possibilitam a utilização de índices fisiológicos como meio de esclarecer as diferenças varietais quanto à produção econômica, como afirma ECCO et al. (2014).

Na cultura da cana-de-açúcar, a deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis por maiores danos à produção, principalmente por afetar a cultura, mesmo nas estações mais chuvosas, em decorrência de veranicos. No entanto, as plantas podem apresentar alguns mecanismos de tolerância ao estresse hídrico (VIEIRA et al., 2014).

Uma das características que permitem a cana-de-açúcar produzir em diferentes ecossistemas é o fato de ser considerada uma planta C₄, apresentando elevadas taxas fotossintéticas e alta eficiência na conversão de energia radiante em energia (SANTOS et al., 2014). Sob condições tropicais com temperaturas entre 30 e 40°C possuem um elevado desempenho fotossintético, quando comparadas às C₃, pois necessitam de concentrações menores de CO₂, devido aos mecanismos da cultura que têm a função de concentração de CO₂.

A demanda por variedades tolerantes às adversidades ambientais como a restrição hídrica e que apresentem boa produtividade, tem gerado interesse por pesquisadores na investigação dos mecanismos fisiológicos que possam ser utilizados pelas plantas como respostas a estas problemáticas, como por exemplo, a prolina (um osmorregulador que auxilia na identificação de indivíduos resistentes ao déficit hídrico) (SANTOS et al., 2014).

Dessa forma, junto à expansão da cultura, aumenta a exigência por variedades que apresentem boas respostas, tanto em produção de cana-de-açúcar quanto em concentração de açúcar, para o cultivo em ambientes diversos (SILVEIRA et al., 2012).

Um parâmetro que pode ser observado sobre a cultura seria o levantamento de informações sobre o desenvolvimento da parte aérea da cana-de-açúcar tornando-se de grande

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

importância, logo que permite inferir a influência de fatores abióticos entre eles a presença de água na localidade, como é afirmado por SILVA et al. (2012).

Conforme apresentado por ABREU et al. (2013) uma variedade ideal, entre elas a cana-de-açúcar, é aquela que possua alta média de produção e baixo grau de flutuação em seu desempenho quando cultivada sob diversas condições ambientais, de tal modo que a recomendação de uma variedade depende da comprovação de sua constância como material genético em grande amplitude de condições ambientais.

Variedades estudadas

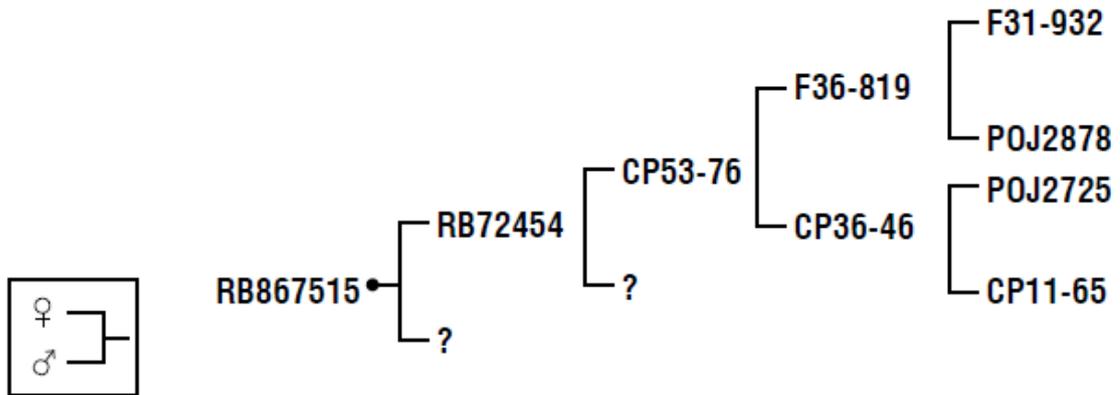
Existem consideráveis diferenças entre as variedades de cana-de-açúcar em relação às respostas ao déficit hídrico, mas as informações do comportamento da variedade quando submetida à restrição hídrica só é veiculada quando a mesma já está sendo utilizada em plantios comerciais (IANMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

RB992587

Trata-se de uma variedade encontrando-se no processo de finalização de pesquisa para lançamento no mercado canavieiro, onde procura-se atender a expansão da cultura da cana-de-açúcar na grande diversidade de condições edafoclimáticas do Brasil, de modo que as pesquisas que visam novas variedades possam compor a base da matéria prima que tornam o Brasil um país com tecnologia e competência para produzir energia renovável e autossustentável (RIDESA, 2010a). Em vista de uma variedade muito nova, não se encontram referências em relação a sua utilização, assim como a sua produtividade, caracterizando essa pesquisa como uma das pioneiras a avaliar a RB992587.

RB867515

Lançada oficialmente como variedade comercial em março de 1997, pela Universidade Federal de Viçosa, possui alta velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto, alta densidade de colmo, é resultante de um policruzamento, tendo variedade progenitora RB72454, fecundadas com pólen de diversas outras variedades, ao acaso, de modo que não se pode especificar qual foi a variedade “pai”, essa variedade também é tolerante à seca e boa brotação de soqueira, mesmo colhida crua; alto teor de sacarose e baixo em fibra, crescimento rápido com alta produtividade (RIDESA, 2010a).

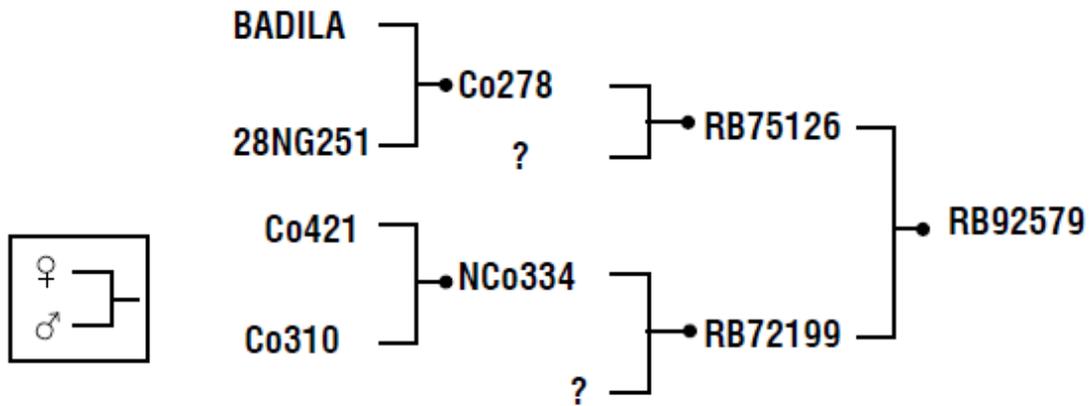
Figura 2. Genealogia da RB867515.

Fonte. RIDESA (2010a).

RB92579

Em 2003, sob a responsabilidade do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar- PMGCA, do Centro de Ciências Agrárias, a Universidade Federal de Alagoas liberou a variedade RB92579, aonde vem apresentando expressivas elevações das áreas colhidas pelas empresas da região, em função de suas vantajosas produtividades agroindustriais, de 30% a 40% acima das outras que eram mais cultivadas e 60% acima das variedades cultivadas há duas décadas (RIDESA, 2010a).

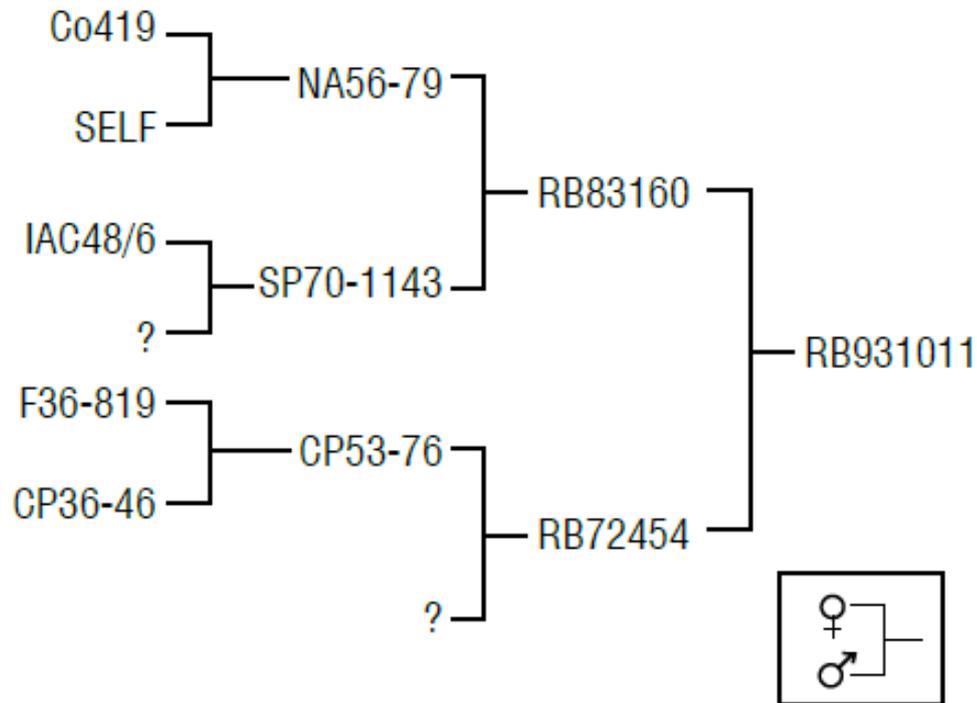
O cultivo da RB92579 segundo ALMEIDA et al (2008) se sobressai na região Nordeste, ocupando 30% da área plantada. Na maioria das unidades da região, tem-se observado elevadas produtividade agrícola, apresentando médias acima de 80 t/ha e alta produtividade quando submetida a irrigação plena, atingindo médias acima de 140 t/há (RIDESA, 2010a). A variedade RB92579 é resultante de um cruzamento biparental, tendo variedade progenitora RB75126, fecundadas com pólen da variedade RB72199 (Figura 3).

Figura 3. Genealogia da RB92579.

Fonte. RIDESA (2010a).

RB931011

Esta variedade apresenta rápido desenvolvimento, boa brotação, perfilhamento médio tanto para a cana planta, quanto para soca, e destaca-se pela excelente performance em solos de textura arenosa e pelo rápido crescimento vegetativo (RIDESA 2010b). Segundo SOUZA & SLUYS (2010), O sucesso de um programa de melhoramento depende de vários fatores, entre eles, a escolha adequada dos genitores, objetivando maximizar a chance de obter ganhos com a seleção; a instalação de experimentos com boa precisão; e a escolha correta dos caracteres e épocas de avaliação. Tais parâmetro foram aplicados na formação e identificação das variedades selecionadas na pesquisa.

Figura 4. Genealogia da RB931011.

Fonte. RIDESA (2010b).

Aspectos do melhoramento genético

O melhoramento genético de plantas é a ciência, a arte e o gerenciamento do aprimoramento de plantas para o benefício da humanidade (BERNARDO, 2002). Tem contribuído decisivamente para o desenvolvimento científico, econômico e social do Brasil e do mundo. Segundo RAMALHO et al. (2005) o melhoramento de plantas visa principalmente identificar combinações genotípicas com performances superiores quando em produção comercial, isso significa que nenhum material será recomendado sem uma avaliação prévia e sobretudo que essa avaliação, realizada em campos experimentais, deva obrigatoriamente refletir as condições que o material irá encontrar quando em produção comercial.

Os avanços científicos e tecnológicos e o dinamismo das cadeias produtivas introduzem constantes desafios e novos conhecimentos, a serem incorporados nas atividades de pesquisa em genética e melhoramento, demandando uma atualização sistemática dos profissionais envolvidos. Esse processo envolve a formação, qualificação e integração de capacidades, para o pleno alcance com maior eficácia dos objetivos dos programas de melhoramento (NETO & CAVALCANTI, 2013).

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Pouco valor terá o material que o melhorista produzir se ele não for efetivamente adotado, ou seja, o sucesso de uma nova variedade é medido pelo seu nível de adoção. Nos últimos anos o melhoramento de plantas desenvolveu todas as culturas que são utilizadas na alimentação da humanidade (FUZATTO, 1993).

No Brasil o melhoramento proporcionou o desenvolvimento de muitas variedades de polinização aberta, híbridos ou clones que, mesmo introduzidas de outros centros de diversidade, tornaram-se de grande significado para o agronegócio brasileiro (QUEIROZ & LOPES, 2007).

Variedades melhoradas, portadoras de genes capazes de expressar alta produtividade, melhor qualidade industrial, assim como alta adaptação, boa resistência e tolerância a fatores adversos, tanto bióticos como abióticos, são os objetivos de todo o programa de melhoramento (NÓBREGA & DORNELAS, 2006).

Melhoramento genético da cana-de-açúcar

Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar surgiram em razão da necessidade de recuperação da produção declinante proveniente do cultivo continuado de poucas variedades, resultando na mudança de ambiente por fatores bióticos e abióticos, mas um fato especial e importante, talvez pela própria especificidade dessa planta, é que o melhoramento genético foi quase sempre conduzido por um programa sustentado por organizações públicas ou privadas, diretamente ligadas ao setor (MATSUOKA et al., 2005). Vale ressaltar que a meta do melhoramento genético é disponibilizar ao produtor a semente ou a muda da variedade melhorada.

Os avanços alcançados pelos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil foram significativos, representaram um incremento de produtividade de cerca de 30% em 30 anos, entretanto, quando comparada a outras culturas, como a soja, por exemplo, a cultura apresentou um incremento modesto, isso porque, no caso da cana, o melhoramento genético enfrenta obstáculos particulares (CARVALHO & FURTADO, 2013).

De acordo com SOUZA & SLUYS (2010), existem limitações específicas ao processo de melhoramento da cana relacionadas a fatores como:

- A. Trata-se de uma variedade híbrida, onde a identificação das marcas genéticas de interesse é muito laboriosa e demorada, onde são necessários aproximadamente 15

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

anos para a obtenção e liberação de uma variedade comercial, sendo que a sobrevivência desta variedade no campo é, também de 15 anos;

- B. Impedimento para a obtenção e liberação de variedades produtivas e adaptadas a ambientes brasileiros diversos;
- C. Adversidades biológicas, como a reprodução sexuada, no caso das plantas, a floração e o equilíbrio celular, que garantem a sinalização correta entre as partes do organismo e o seu funcionamento como um todo.

Além desses fatores, CARVALHO & FURTADO (2013) também ressaltam que a cultura apresenta um genoma complexo, variando de cultivar para cultivar, por se tratar de um genoma híbrido e poliploide e devido a essas características, o acesso dirigido à diversidade alélica em bancos de germoplasma por meio do uso da genética tradicional se torna extremamente dificultosa.

Estresse hídrico

A água é o componente majoritário da planta, a qual representa aproximadamente 80% do peso da matéria fresca de plantas herbáceas, desempenha também diversas funções físico-químicas (WILLADINO et al., 1997). Uma combinação perfeita de dois elementos, o oxigênio e o hidrogênio, confere à água uma identidade própria, diferente daquelas dos elementos que a compõem, em vista disso, a água também é considerada um solvente universal uma vez que solubiliza açúcares, ânions orgânicos e sais inorgânicos, sendo o meio onde ocorrem todas as reações bioquímicas da planta. Essa propriedade deve-se principalmente à sua bipolaridade molecular (VIEIRA et al., 2010).

O déficit hídrico, de modo geral, ocorre na planta quando a taxa de transpiração é mais intensa que a absorção de água. Segundo CARNEIRO et al (2011), entre as diversas consequências da seca sobre o desenvolvimento de plantas, a restrição na aquisição de nutrientes e água é comumente reconhecida. INMAN-BAMBER & SMITH (2005) relatam que a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose. A deficiência desse recurso, segundo WILLADINO et al. (1997), compromete todo o metabolismo e, por conseguinte, o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da planta.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Esse tipo de estresse é caracterizado por envolver sutis alterações na estrutura bioquímica das células, que parecem ser o resultado da acumulação de solutos compatíveis e de proteínas específicas que podem ser rapidamente induzidas por estresse osmótico. As várias respostas fisiológicas da planta ao déficit de água, geralmente variam de acordo com a gravidade da escassez hídrica (HENDGES et al., 2015).

Os efeitos da seca sobre a cultura da cana-de-açúcar acarretam algumas estratégias metabólicas de enfrentamento ao estresse hídrico que envolve o ajuste osmótico, a acumulação de solutos orgânicos, tais como prolina e trealose, o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, entre outros (YADAV et al., 2011).

O conhecimento das relações hídricas é fundamental para melhorar o manejo da cultura nas regiões tropicais, devido a grande diferenciação de disponibilidade hídrica existente em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Em locais de baixa precipitação e desprovidas de irrigação, o entendimento da correlação da cultura com a água pode auxiliar os programas de melhoramento genético, visto que a tolerância maior a seca pode ser de importante característica para seleção de novas variedades (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

Como qualquer outro cultivo agrícola, a cana-de-açúcar tem sua produção diretamente influenciada pelos estresses ambientais (QUEIROZ et al. 2008). A tolerância ao déficit hídrico se manifesta geralmente de quatro formas: limitando o crescimento, promovendo adaptações morfológicas, fisiológicas e metabólicas. (ECCO et al., 2014).

Em resposta, a cana-de-açúcar pode adaptar-se para evitar e superar o estresse por diversos mecanismos fisiológicos, bioquímicos e genéticos, os mecanismos de resistência ao estresse são classificados em dois tipos: evitar e/ou tolerar o estresse. Para evitar o estresse se faz necessário o estabelecimento das condições internas das células das plantas que não estão sob estresse apesar das condições externas, como por exemplo, o controle de altas temperaturas foliares para transpiração e prevenção contra a escassez e a conservação hídrica. A tolerância envolve a resistência contra o estresse, onde as plantas podem ter suas funções realizadas ainda que esteja sob condições adversas, seja o estresse interno ou externo. (SHEPHERD & GRIFFITHS, 2006).

Espécies Reativas de Oxigênio – EROs

Evidências apontam que a seca provoca estresse oxidativo em várias plantas, em consequência do aumento na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), produzindo radicais como superóxido ($*O_2^-$), radical hidroxila ($*OH^-$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singlete (1O_2). Essas EROs são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético e mantidas em concentrações compatíveis com a homeostase redox celular, no entanto, o excesso das EROs provocam danos oxidativos em proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos, caracterizando o estresse oxidativo (MAIA et al., 2012).

Embora necessário para o desempenho das funções celulares, o oxigênio molecular (O_2) leva, inevitavelmente, à formação de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) em eventos metabólicos que ocorrem, principalmente, nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (BARBOSA et al. 2014).

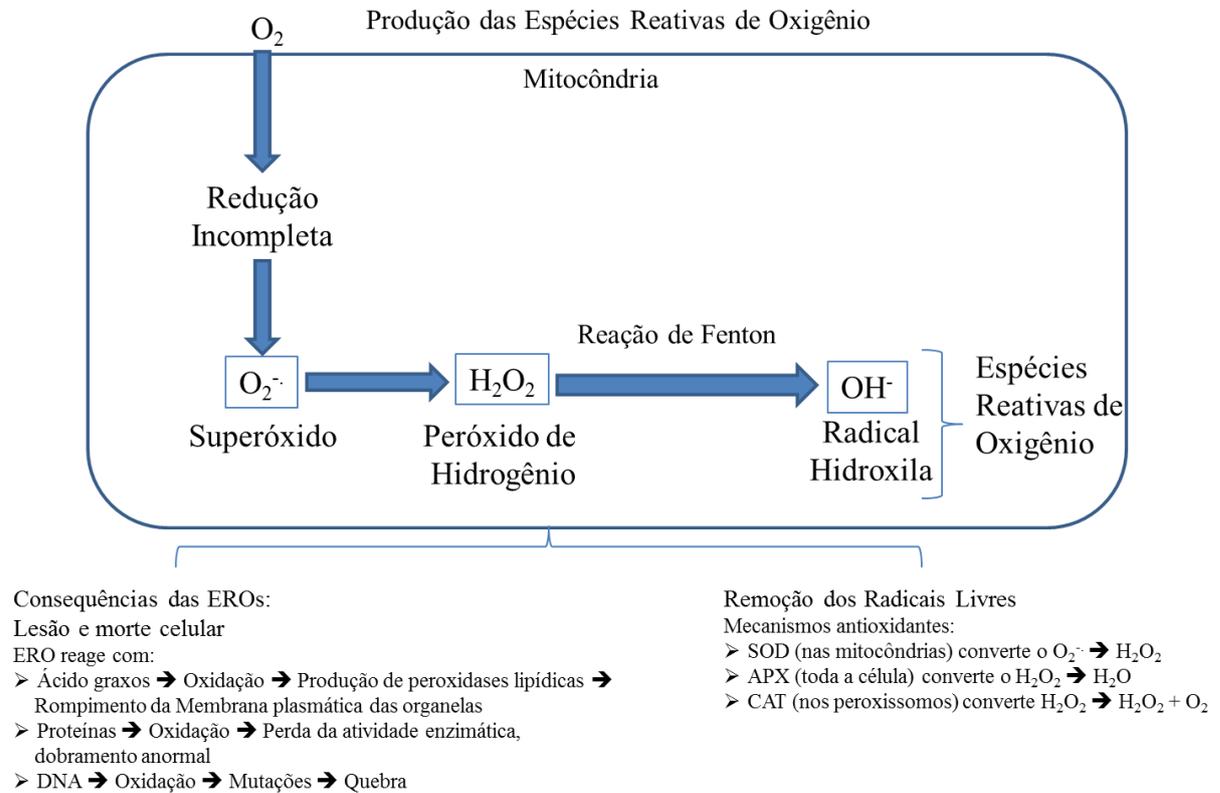
A terminologia Espécies Reativas de Oxigênio inclui as espécies de radicais livres e outras que, embora não possuam elétrons desemparelhados, são muito reativas em decorrência da sua instabilidade (RIBEIRO et al., 2005).

Todo estresse ambiental pode acarretar estresse oxidativo, resultado do acúmulo de espécies reativas e citotóxicas de oxigênio, como o superóxido ($*O_2^-$), o radical hidroxila ($*OH^-$) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), além do oxigênio singlete (1O_2) (WILLADINO et al., 2011). O estresse oxidativo se estabelece devido ao desequilíbrio gerado entre o aumento da produção de EROs e o sequestro dessas espécies químicas (PARIDA & DAS 2005) (Figura 2).

Para minimizar os efeitos citotóxicos das EROs, as plantas desengatilham um complexo sistema antioxidativo onde enzimas específicas atuam neutralizando a ação desses radicais, entre eles podem ser mencionados o ascorbato peroxidase (APX. EC 1.11.1.11) e a catalase (CAT. EC 1.11.1.6) (PEREIRA et al., 2012).

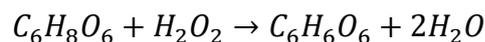
NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 5. Papel das Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) na lesão celular. O O_2 é convertido em $*O_2^-$ e daí a $*OH^-$ pela reação de Fenton catalisada pelo Cu^{2+}/Fe^{2+} . A lesão por radicais livres dos lipídios (por peroxidação), proteínas e ácido desoxirribonucleico (DNA) leva diversas formas de dano celular. As principais enzimas antioxidantes são a superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT).



Fonte: KUMAR et al. (2008).

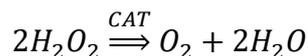
A APX está distribuída por toda a célula e catalisa a redução do H_2O_2 a H_2O (OLIVEIRA et al., 2010) (Equação 1). Enquanto a CAT é encontrada nos peroxissomos, citosol e mitocôndrias, dismuta H_2O_2 em H_2O e O_2 (Equação 2). Essa eliminação de peróxido de hidrogênio pela APX é muito rápida, por possuir alta afinidade com essa molécula, removendo-a mesmo em baixas concentrações. Ao contrário da catalase, que atua removendo o excesso de H_2O_2 (HENDGES et al., 2015).



Ascorbato + Peróxido de hidrogênio → Dehidroascorbato + Água

Equação 1. Conversão do peróxido de hidrogênio a água pela enzima ascorbato peroxidase (APX) através da oxidação do ácido ascórbico.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...



Equação 2. Reação de conversão do peróxido de hidrogênio e oxigênio e água pela enzima catalase (CAT).

O acúmulo das EROs é citotóxico e causa distúrbios metabólicos que são consequência de danos a macromoléculas resultantes da oxidação de ácidos nucleicos, desnaturação de proteínas e peroxidação de lipídios (PARIDA & DAS 2005). O radical superóxido, por exemplo, é produzido regularmente nos cloroplastos e mitocôndrias, embora pequenas quantidades também sejam produzidas nos peroxissomos, glioxissomos e retículo endoplasmático (OLIVEIRA et al., 2010).

Sob condições adequadas de desenvolvimento, a produção das EROs nas células é baixa, mantendo-se em um nível estável de 240 mM s^{-1} de $*O_2^-$ e $0,5 \text{ mM s}^{-1}$ de H_2O_2 nos cloroplastos, já sob estresse, perturbando a homeostase celular, elevam-se as produções das EROs, de 240 para 720 mM s^{-1} de $*O_2^-$ e a geração de H_2O_2 pode alcançar de 5 a 15 mM s^{-1} (MITTLER, 2002).

O H_2O_2 , apesar de não ser um radical livre, pela ausência de elétrons desemparelhados na última camada, é um metabólito do oxigênio extremamente deletério, porque participa da reação que produz o $*OH^-$, além de possuir o período de meia vida mais longa que as demais EROs e por ser desprovido de cargas, é capaz de atravessar camadas lipídicas, podendo reagir com a membrana e com proteínas (FERREIRA & MATSUBARA, 1997).

O radical hidroxila ($*OH^-$) é considerado a ERO mais reativa em sistemas biológicos. Pode causar danos oxidativos a lipídios, proteínas, ácidos nucleicos e outras macromoléculas importantes, afetando severamente o metabolismo vegetal e, conseqüentemente, o crescimento e a produção (OLIVEIRA et al., 2010; MAIA et al., 2012).

A combinação extremamente rápida do $*OH^-$ com metais ou outros radicais no próprio sítio onde foi produzido confirma sua alta reatividade, de tal forma que se o $*OH^-$ for produzido próximo ao DNA, possibilitará o aparecimento de modificações de bases purínicas e pirimidínicas, levando à inativação ou mutação do DNA, além disso, o $*OH^-$ pode inativar várias proteínas, entre elas algumas enzimas e danificar a membrana celular, ao iniciar a oxidação dos ácidos graxos poli-insaturados dos lipídios de membrana (lipoperoxidação) (FERREIRA & MATSUBARA, 1997).

Adaptabilidade e estabilidade

Para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na região, é fundamental a disponibilidade de diferentes variedades, bem como o conhecimento do comportamento ecofisiológico delas em cada ambiente de produção (ANTUNES et al., 2016).

A definição de adaptabilidade para fins agrícolas é voltada para a resposta produtiva do genótipo à melhoria ambiental. Enquanto a definição mais aceita de estabilidade refere-se à previsibilidade dessa resposta às variações ambientais (JÚNIOR et al., 2013).

Como se sabe, em sua grande maioria, os genótipos apresentam comportamentos diferenciados em relação aos distintos ambientes de cultivo. Por conta disso, é fundamental a identificação de genótipos de comportamento previsível e responsivos às alterações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo (SILVEIRA et al., 2012).

Segundo SCHMILD et al. (2011), a busca de variedades com ampla adaptabilidade e boa estabilidade envolve o estudo de metodologias que propiciem estimativas mais precisas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. O ideal é que a metodologia de avaliação seja de fácil interpretação, com uso de poucas estatísticas, confiável e que possa ser usada tanto para pequeno quanto para grande número de ambientes.

A avaliação, identificação e indicação de variedades de cana-de-açúcar mais tolerantes a condições diversificadas são de fundamental importância para o desenvolvimento da cultura. Uma das ferramentas para auxiliar essa etapa do melhoramento genético da cana-de-açúcar é o estudo da interação genótipo x ambiente (GxA) (VERÍSSIMO et al., 2012). Essa interação pode inflacionar as estimativas de variância genética, resultando em grandes estimativas dos ganhos genéticos esperados com a seleção e, conseqüentemente, menor êxito dos programas de melhoramento (SILVA et al., 2013).

O estudo de novas variedades quanto à adaptação a diferentes ambientes é importante para a recomendação das melhores variedades para as regiões mais aptas. Como a cana-de-açúcar é originária de baixas latitudes - regiões tropicais, próximas ao Equador - seu florescimento ocorre apenas com temperaturas altas e elevada umidade. Por isso, os principais programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar do Brasil possuem estações experimentais no Nordeste (ROSETO, 2008). SILVA (2008) ressalta que uma variedade ideal é aquela que tem alta média de produção, mas um baixo grau de flutuação em seu desempenho quando cultivada sob diversas condições ambientais.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Por ser responsiva a flutuações ambientais, mesmo em pequena magnitude, as variedades de cana—de-açúcar apresentam comportamento diferenciado em várias áreas, e quando os genótipos são avaliados em condições hídricas contrastantes, ocorrem frequentemente variações no posicionamento relativo dos mesmos, deste modo, a interação entre o genótipo e o ambiente assume grande importância (NÓBREGA & DORNELAS, 2006). Logo, uma nova variedade depende da comprovação de sua constância como material genético em grande amplitude de condições ambientais, denominado estabilidade fenotípica (SILVA, 2008).

A adaptação da cana-de-açúcar depende da redução da sensibilidade da planta às mudanças climáticas, através do desenvolvimento de variedades que apresentam maior resistência a temperaturas elevadas e ao estresse hídrico (SOUZA & SLUYS, 2010).

A variação climática anual na região Nordeste do Brasil tem sido uma das principais causas de redução da produtividade agrícola, onde os níveis de produtividade agrícola na região canavieira do Nordeste ainda são baixos e isso pode estar associado ao déficit hídrico sofrido pela cultura, aliado ao uso de variedades não adaptadas às condições do ambiente (ABREU et al., 2013).

Diversos procedimentos para a avaliação da adaptabilidade e a estabilidade são desenvolvidas e, aprimoradas, esses procedimentos são baseadas em análise de variância, regressão linear, regressão não linear, análise multivariada e estatísticas não paramétricas, utilizando-se de Metodologias estatísticas de fácil interpretação e com seleção simultânea para produtividade, adaptabilidade e estabilidade também tem sido desenvolvidas buscando-se a seleção de genótipos com elevados rendimentos em diferentes ambientes de plantio (BASTOS et al., 2007).

Dentre as metodologias de uso mais frequente, atualmente, está a de ANNICCHIARICO (1992), que estima o risco de adoção de determinado genótipo (SCHMILD et al., 2011). Essa metodologia consiste na análise de variância dos experimentos, onde considera todos os ambientes e o posterior desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e da interação genótipos x ambientes, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo (CRUZ & REGAZZI, 2001).

Este trabalho objetivou avaliar a resposta de quatro variedades de cana-de-açúcar na fase formativa da cultura, da emergência ao perfilhamento, submetidos a dois regimes hídricos (irrigado e em sequeiro) em condições de campo. Buscou-se identificar diferenças

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

quanto à tolerância ao estresse hídrico entre as variedades avaliadas, bem como as estratégias de tolerância à menor disponibilidade hídrica de cada variedade e estimar a adaptabilidade e estabilidade em relação aos dois ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.L.; SILVA, M.A.; TEODORO, L.; HOLANDA, L.A.; NETO, G.D.S. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 72, n. 03, p. 262-270, 2013.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.

ANTUNES, W.R.; SCHÖFFEL, E.R.; SILVA, S.D.A.; EICHOLZ, E.; HÄRTER, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 2, p.142-148, fev. 2016.

BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T.R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BASTOS, I.T.; BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A.A.; COSTA, P.M.A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 37, n. 4, p. 195-203, 2007.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plant**. Woodbury: Stemme, 2002, 368p.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar. Brasília, DF: **CONAB**, v. 2, n. 1, 2016. 28 p.

CARNEIRO, M.M.L.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P.V.; TEIXEIRA, S.B.; SOUSA, C.P.; BACARIN, M.A.; MORAIS, D.M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4 p. 754 - 763, 2011.

CARVALHO, S. A.D.; FURTADO, A.T. O melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil e o desafio das mudanças climáticas globais. **Revista Gestão & Conexões**, Vitória, ES, v. 2, n. 1, 2013.

CORREIA, C.B.G.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D.; CARVALHO, C.M.; SILVA, L.L.; FEITOSA, S.O. Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2014.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ª edição revisada. Viçosa, MG: Editora UFV, 2001, 390p.

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** v. 5, n.1, 2014.

FERREIRA, A.L.A.; MATSUBARA, L.S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, SP, p. 61-68, 1997.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

FUZATTO, M.G. Melhoramento de plantas no IAC: uma variedade essencial. IN: FURLANI, A.M.C.; VIÉGAS, G.P (Ed.). **Contribuições do Instituto Agrônomo ao melhoramento genético vegetal**, v. 1. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1993, p. 1-12.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.G. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 04, p. 378–386, 2010.

HENDGES, F.B.; RAMBO, C.R.; ALCASSA, L.P.; LIEBL, J.; VENDRUSCOLO, E.CG; COSTA, A. C.T. Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 52-63, 2015.

HOLANDA, L.A.; SANTOS, C.M.; NETO, G.D.S.; SOUZA, A.P.; SILVA, M.A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014.

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

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SMITH, D.M.; THORBURN, P.J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005.

JÚNIOR, A.R.F.; ANDRADE, J.A.C.; SANTOS, P.C.S.; HOFFMANN, H.P.; CHAPOLA, R.G.; CARNEIRO, M.S.; CURSI, D.E. Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p.208-216, 2013.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

KUMAR, V.; ABBAS, A.K.; FAUSTO, N.; MITCHELL, R.N. **Robbins Patologia Básica**. 8ª edição, Elsevier, 2008, 1048p.

MAIA, J.M.; SILVA, S.L.F.; VOIGT, E.L.; MACÊDO, C.E.C.; PONTE, L.F.A.; SILVEIRA, J.A.G. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 342-349, 2012.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento Prático**. Aracaju, CE, EMBRAPA, 2012. 29p.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005 p. 205-251.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, v.07, n.9, p.405-410, 2002.

NETO, F.C.; CAVALCANTI, J.J.V. **Melhoramento genético de plantas no Nordeste**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013, 281 p.

NÓBREGA, J.C.M.; DORNELAS, M.C. Biotecnologia e melhoramento da cana-de-açúcar. In: PINTO, A.S. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2006, p. 39-56.

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, 2015.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

OLIVEIRA, A.B.; FILHO, E.G.; FILHO, E.J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 6, n.11, 2010.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. **Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PEREIRA, J.W.L.; FILHO, P.A.M.; ALBUQUERQUE, M.B.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, Roseane, C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 766-773, dez. 2012.

QUEIROZ, M.A.; LOPES, M.A. Importância dos recursos genéticos vegetais para o agronegócio. In: NASS, L.L. (Ed.). **Recursos genéticos vegetais**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007, p. 61-118.

QUEIROZ, R.J.B.; SANTOS, D.M.M.; CARLIN, S.D.; MARIN, Adão.; BANZATTO, D.A.; CAZETTA, J.O. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica no solo. **Científica**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 107-115, 2008.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2ª edição, Lavras, MG: 2005, 322p.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: RIDESA, 2010a, 136p.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Liberação nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: RIDESA, 2010b, 64p.

RIBEIRO, S.M.R.; QUEIROZ, J.H.; PELÚZO, M.C.G.; COSTA, N.M.B.; MATTA, S.L.P.; QUEIROZ, M.E.L.R. A formação e os efeitos das espécies reativas de oxigênio no meio biológico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 21, n. 3, p. 133-149, 2005.

ROSETO, R. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_70_711200516719.html>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2017.

SANTOS, J.R.; OLIVEIRA JR, L.F.G.; SOUSA, J.P.S; JUNIOR, C.D.S.; SARMENTO, C.R. Desempenho de genótipos promissores de cana-de-açúcar utilizando ferramentas fisiológicas e biométricas. **Bioscience jornal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 380-389, 2014.

SCHMILDT, E.R.; NASCIMENTO, A.L.; CRUZ, C.D.; OLIVEIRA, J.A.R. Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 01, p. 51-58, 2011.

SHEPHERD, T.; GRIFFITHS, W. The effects of stress on plant cuticular Waxes. **New Phytologist**. Quality Health and Nutrition, Scottish Crop Research Institute, v. 171, n. 3, p. 469-99, 2006.

SCHNEIDER, C.F.; SCHULZ, D.G.; LIMA, P.R.; JÚNIOR, A.C.G. Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 5, p. 08-17, 2012.

SILVA, J.P.N.; SILVA, M.R.N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Inhumas, GO: IFGO, 2012, 105p.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

SILVA, G.A.P.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARBONELL, S.A.M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 59-65, 2013.

SILVA, M.A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 67, n. 1, p. 109-117, 2008.

SILVEIRA, L.C.I.; KIST, V.; PAULA, T.O.M.; BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, 2012.

SOUZA, G. M.; SLUYS, M. V. Genômica e biotecnologia da cana-de-açúcar: estado da arte, desafios e ações. In: CORTEZ, L. A. B. (Ed.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: **Blucher**, 2010. p. 325-332.

VERÍSSIMO, M.A.A.; SILVA, S.D.A.; AIRES, R.F.A.; DAROS, E.; PANZIERA, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.561-568, 2012.

VIEIRA, E.L.; SOUZA, G.S.; SANTOS, A.R.; SILVA, J.S. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luís, MA: EDUFMA, 2010, 230p.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; DELAZARI, F.T. Indicadores morfofisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 30, n. 3, supplement 1, p. 65-75, 2014.

WILLADINO, L.; FALCÃO, T.M.M.A.; CAMARA, T.R.. Estresse Hídrico. In: WILLADINO, L. **Manual de fisiologia vegetal e genética fisiológica**. UFRPE, 1997, p.13.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

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 Agrônômica**, Ceará, v. 42, n. 2, p. 417-422, 2011.

YADAV, P.V.; KUMARI, M.; AHMED, Z. Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. **Research Journal of Seed Science**, v. 4, n. 3, p. 125-136, 2011.

CAPÍTULO II

COMPARAÇÕES BIOMÉTRICAS E BIOQUÍMICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS FASES INICIAIS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Comparações biométricas e bioquímicas de variedades de cana-de-açúcar nas fases iniciais sob diferentes condições hídricas

Nivaldo Correia de Andrade Neto¹, Pedro Henrique Souza¹, Terezinha Camara², Lilia Willadino², Carlos Henrique de Azevedo Farias³.

1. Aluno do Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Rua Dom Manoel de Medeiros S/N, CEP: 52171-900. Bairro de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco – Brasil.

2. Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

3. Doutorado em Recursos Naturais. pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

* Autor correspondente: teca.camara@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa objetivou avaliar a resposta de quatro variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na fase formativa da cultura submetidas a dois regimes hídricos, irrigado e em sequeiro. O experimento foi realizado em microrregião canavieira da Miriri Alimentos e Bioenergia S/A, em Santa Rita (PB). O delineamento estatístico foi em fatorial (4 variedades x 2 regimes hídricos), a pesquisa foi conduzida até os 150 dias após o plantio (DAP). Como critério de avaliação aferiu-se dados de índice de área foliar (AF), altura do colmo (AC), número de colmos por metro linear (NC) e o diâmetro do colmo (DC) e para os parâmetros de tolerância ao estresse oxidativo, determinaram-se as atividades do sistema antioxidativo, ascorbato peroxidase (APX), e catalase (CAT), os teores da espécie reativa de oxigênio (ERO), o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e de malondialdeído (MDA). A variedade RB867515 expressou maior desenvolvimento, seguida pela RB92579, onde demonstraram melhores respostas ao estresse oxidativo, o que indica maior tolerância ao déficit hídrico, de modo que a atividade enzimática foi eficiente em reduzir os teores da ERO e conseqüentemente, de MDA.

Palavras chave: *Saccharum*, ERO, Sistema antioxidativo.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the response of four sugarcane varieties (*Saccharum spp.*) in the formative phase of the crop submitted to two irrigated and irrigated water regimes. The experiment was carried out by the sugarcane microregion of Miriri Alimentos and Bioenergia S/A, in Santa Rita (PB). The statistical design was in factorial (4 varieties x 2 water regimes), the research was conducted until 150 days after planting (DAP). As evaluation criteria, leaf area index (AF), stem height (AC), number of stalks per linear meter (NC) and stalk diameter (DC) and for parameters of tolerance to oxidative stress. The activities of the antioxidative system, ascorbate peroxidase (APX), and catalase (CAT), the contents of the reactive oxygen species (ROS), hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde (MDA) were determined. The RB867515 strain expressed higher development, followed by RB92579, where they showed better responses to oxidative stress, which indicates a greater tolerance to water deficit, so that enzymatic activity was efficient in reducing ERO and, consequently, MDA levels.

Key words: *Saccharum*, ROS, Antioxidative system

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). De modo geral, o país tem dois calendários de colheita, um para a Região Nordeste, que vai de setembro a abril e outro para o restante do país, de maio a janeiro (CONAB, 2016).

A variação climática anual na região Nordeste do Brasil tem sido uma das principais causas de redução da produtividade agrícola, a disponibilidade de água é essencial para o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar, porque sua falta ou excesso pode influir diretamente na produção da cultura e uma forma de contornar esse problema é cultivar variedades resistentes ou tolerantes à seca (ABREU et al., 2013).

Esse tipo de estresse provoca o desequilíbrio entre produção e remoção das EROs; assim, o saldo final pode ser uma elevação dos níveis de EROs e, conseqüentemente, o estresse oxidativo, que leva à redução na produtividade dos vegetais (BARBOSA et al., 2014).

No controle a agentes oxidantes atua um complexo e eficiente sistema de defesa antioxidativo constituído por enzimas e compostos não enzimáticos de baixo peso molecular (SOARES & MACHADO, 2007; WILLADINO et al. 2011). Uma série de compostos bem como as enzimas antioxidativas são constantemente modulados frente a determinado estresse com o objetivo de contorná-lo. Possivelmente, uma interação íntima entre moléculas sinalizadoras seja o cenário mais real (SOARES & MACHADO, 2007).

Esse sistema antioxidativos estão presentes em diversos compartimentos subcelulares que, usualmente, são suficientes para evitar o dano oxidativo durante períodos de crescimento sob condições normais e de estresse moderado, quando estressadas severamente, a produção das EROs pode exceder a capacidade de neutralização dos sistemas antioxidativos e o dano oxidativo pode ocorrer (OLIVEIRA et al., 2010).

O sistema antioxidante é de grande importância para a manutenção do sistema fotossintético, de modo que a elevação da atividade enzimática torna-se um grande informativo em relação ao controle das EROs (REDDY et al., 2004).

Como parte do sistema enzimático destacam-se as enzimas ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.1) e catalase (CAT, EC 1.11.1.6), entre outras. Essas enzimas atuam na geração e decomposição do H₂O₂, desempenhando um papel fundamental no equilíbrio redox (WILLADINO et al. 2011; PEREIRA et al., 2012).

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

A APX está distribuída por toda a célula e catalisa a redução do H_2O_2 a H_2O (OLIVEIRA et al., 2010). Enquanto a CAT é encontrada nos peroxissomos, citosol e mitocôndrias, dismuta H_2O_2 em H_2O e O_2 . Essa eliminação de peróxido de hidrogênio pela APX é muito rápida, por possuir alta afinidade com essa molécula, removendo-a mesmo em baixas concentrações. Ao contrário da catalase, que atua removendo o excesso de H_2O_2 (HENDGES et al., 2015).

Quando o H_2O_2 é produzido nos cloroplastos, este é eliminado pelas enzimas APX, assim como nos peroxissomos é removido pelas CAT. Esta peculiaridade entre as enzimas e o H_2O_2 demonstra as distintas afinidades, de tal modo que a APX apresenta maior afinidade e a CAT menor afinidade pelo H_2O_2 (MITTLER, 2002).

Assim, a APX seria responsável pela modulação final das EROs, enquanto a CAT seria responsável pela remoção do excesso de EROs durante o estresse. Desta forma, tanto a CAT quanto a APX apresentam extrema importância na célula vegetal e grande relevância no tocante a pesquisas que visam assimilar suas interações sob os diferentes tipos de estresses ambientais (CARVALHO et al., 2011).

Vale ressaltar que essa regulação enzimática pode ser perdida se o estresse for muito severo ou prolongado, aumentando consideravelmente a produção de EROs que podem levar a uma cascata de eventos que inicia com a peroxidação de lipídeos, avançando para a degradação de membranas e a morte celular (CARNEIRO et al. 2011).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a resposta de quatro variedades de cana-de-açúcar na fase formativa da cultura, da emergência ao perfilhamento, submetidos a dois regimes hídricos (irrigado e em sequeiro) em condições de campo e identificar diferenças quanto à tolerância ao estresse hídrico entre as variedades avaliadas, assim como as estratégias de tolerância à menor disponibilidade hídrica de cada variedade.

MATERIAL E MÉTODOS

Elaboração da pesquisa

O experimento foi realizado na microrregião canavieira da empresa Miriri Alimentos e Bioenergia S.A, no município de Santa Rita na Paraíba, localizado nas coordenadas geográficas Latitude S 07° 06' 59" e longitude O 34° 58' 52", estando próximo à BR 101 e ao rio Una. A precipitação pluvial do município é de aproximadamente 1.300 mm e o solo é classificado como uma associação de Latossolo Vermelho Amarelo, com presença de

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

fragipam e Latossolo Vermelho Amarelo, Latossólico, ambos de textura média. (FARIAS et al., 2008) e a temperatura média de 26 °C (DINIZ, 2013), na qual foram avaliadas quatro variedades de cana-de-açúcar. Durante a pesquisa o índice de chuva esteve acima dos 100 mm chegando a 250 mm ao final da pesquisa (Figura 1).

O material servido como cana-semente foi originado dos viveiros de multiplicação da Miriri Alimentos e Bioenergia S/A e de unidades parceiras da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), através da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

A demarcação do experimento dentro da empresa, a distribuição, o semeio dos genótipos e os tratos iniciais foram realizados no mês de novembro de 2015. As parcelas foram distribuídas ao longo dos sulcos objetivando adensamento de aproximadamente 20 gemas viáveis por metro linear. Cada parcela era constituída por cinco sulcos duplos com 8,0 m de comprimento, de forma que o espaçamento foi de 0,8 m entre plantas e 1,6 m entre linhas (0,8 x 1,6 m).

Na pesquisa foram utilizadas quatro variedades: RB992587; RB867515; RB92579; RB931011. Essas foram selecionadas em virtude da RB867515 e RB92579 serem amplamente utilizadas tanto pela própria empresa quanto em todo o Nordeste, seguidas pela RB931011 (RIDESA, 2010a; RIDESA, 2010b) e, por fim a RB992587, que é uma variedade que está em processo final de avaliação produtiva, para que posteriormente seja lançada e introduzida ao mercado canavieiro.

As variedades foram avaliadas sob dois sistemas de irrigação: a 50% da demanda hídrica da cultura utilizando-se um sistema de pivô central e em sequeiro, nos lotes 40 e 44 respectivamente da Miriri Alimentos e Bioenergia S/A. O delineamento experimental foi composto em esquema de fatorial com quatro genótipos (RB992587; RB867515; RB92579; RB931011) e dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro), com cinco repetições.

Coleta das amostras e dados biométricos

As amostras foram coletadas nos períodos de 60, 90, 120 e 150 Dias Após o Plantio (DAP), durante os meses de janeiro a abril de 2016, coincidindo com as fases de estabelecimento e perfilhamento da cultura. Para cada repetição uma amostra da folha +2 da

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

cana-de-açúcar foi coletada, rapidamente embrulhada em papel alumínio, devidamente etiquetado, e em seguida acondicionado em recipiente térmico, contendo nitrogênio líquido.

Ao final da coleta de cada repetição, as amostras ainda imersas em nitrogênio, foram então depositadas em recipientes de isopor contendo gelo, com objetivo de conservar as amostras até o momento da chegada ao Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais (LCTV) da UFRPE, onde permanecem conservadas em freezer a -20 °C.

Durante a semana em que foram realizadas as coletas das amostras, quatro variáveis biométricas, sendo elas, o índice de área foliar (AF); altura do colmo (AC); o número de colmos por metro linear (NC) e o diâmetro do colmo (DC). Os valores foram obtidos utilizando-se da metodologia Kuijper (Dillewijn, 1957) adotada pela RIDESA. Para cada repetição no campo, foram obtidas três amostras, tanto no lote irrigado, quanto no de sequeiro.

Para avaliação da AF, observou-se na folha +3 da cana-de-açúcar, o seu comprimento, e a largura da região mais larga, em seguida, os valores obtidos, foram multiplicados por 0,7. Para a AC, observou-se da planta principal desde a sua base até o ponto mais alto, no qual a folha +1 se dobrava; para a obtenção do NC, foi realizado com o auxílio de uma fita métrica e/ou trena, na qual era contado o número de plantas em meio a distância de 1 m, essa mesma contagem de colmos procedeu-se observando as plantas com a altura igual ou acima de 30 cm. E para obter o valor do DC, com auxílio de um paquímetro digital, foi aferida a medida na base da folha +3.

Para a análise estatística foi utilizado o programa GENES versão 2013.5.1, elaborado por CRUZ (2006). Utilizando-se do modelo matemático para o Delineamento em blocos casualizados utilizando dois fatores, as quatro variedades e dois regimes hídricos, e suas interações (Equação 1).

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_k + A_j + G A_{ij} + E_{ijk}$$

Equação 1. Modelo estatístico utilizado para análise fatorial, onde: Y_{ijk} = valor fenotípico do caráter Y medido no material genético i, no ambiente j; m = média geral paramétrica dos dados em estudo; G_i = efeito do i-ésimo genótipo; A = efeito do j-ésimo ambiente experimental; B_k = efeito de k-ésimo bloco; $G A_{ij}$ = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente; E_{ijk} = erro médio associado à observação Y_{ijk} .

Obtenção do extrato vegetal para análises enzimáticas

Foram pesados 0,2 g de cada uma das amostras de folhas na balança de precisão, para que logo depois fossem depositadas em cadinhos previamente resfriados; Foi adicionado nitrogênio líquido sobre o material vegetal e macerou-se rapidamente até formar um pó cristalizado; em seguida, acrescentou-se 0,15 g o polivinilpolipirrolidona (PVPP), utilizando-se de procedimento sugerido por CORTE et al. (2010); as amostras foram homogeneizadas e em seguida adicionado 2.000 µl do tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,5, e ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) a 0,1 mM, sendo homogeneizadas novamente e levadas à centrífuga resfriada, onde permaneceram por 20 minutos a 10.000 rpm sob a temperatura de 4 °C. Posteriormente, o sobrenadante foi coletado, depositados em eppendorfs e armazenados em freezer para conservação a uma temperatura de -20 °C.

Os teores de proteínas solúveis foram determinados utilizando a metodologia de BRADFORD (1976). O mesmo extrato feito para as enzimas foi utilizado para leitura em espectrofotômetro, cujo comprimento de onda foi de 595 nm. Utilizando-se a albumina de soro bovino (Bovine serum albumin – BSA) como padrão. A reação foi realizada com adição de 20 µL de amostra (previamente diluída) a 1 mL do reagente de Bradford e incubado a temperatura ambiente por 5 minutos

Determinação da atividade enzimática

A atividade do ascorbato peroxidase (APX) foi obtida mediante a metodologia de NAKANO & ASADA (1981), a reação foi realizada por meio de uma solução contendo 1.335 µL de tampão fosfato de potássio monobásico a 50 mM (pH 6,0), 75 µL do extrato enzimático, 75 µL de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) a 10 mM e 15 µL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 100 mM. As leituras foram realizadas no tempo zero e após 60 segundos, em espectrofotômetro a 290 nm, a atividade enzimática foi expressa em $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}$ proteína min^{-1} , e calculada utilizando o coeficiente de extinção molar de $2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ de ascorbato.

A determinação da atividade da catalase (CAT) foi obtida por meio da proposta por BERRS & SIZER (1952). Sua determinação foi feita por uma solução contendo 1.390 µL do tampão fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) 100 mM (pH 7,0), 50 µL do extrato enzimático e 60 µL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (0,5 M). As leituras foram feitas no tempo zero e após 60 segundos, em espectrofotômetro a 240 nm. Posteriormente, a atividade enzimática da CAT foi expressa em $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ mg}^{-1}$ proteína min^{-1} .

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Obtenção do extrato vegetal para análises dos metabólitos do sistema antioxidativo malondialdeído e peróxido de hidrogênio

A quantificação do malondialdeído (MDA) em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF, foi determinada de acordo com HEATH & PACKER (1968), com modificações. A reação foi determinada através da produção de MDA, um metabólito reativo ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBA).

As Amostras de folhas frescas foram homogeneizadas em ácido tricloroacético (TCA) 0,1%, na proporção de 0,2 g da amostra para 2 mL de tampão, contendo aproximadamente 20% de polivinilpolipirrolidona (PVPP).

O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm durante 10 min a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, todo o sobrenadante foi transferido para outro eppendorf.

A mensuração do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em $\mu\text{mols g}^{-1}$ MF, foi realizada seguindo o protocolo de ALEXIEVA et al. (2001). Para cada amostra pesou-se 0,2 g de folhas, na qual passaram por um processo de homogeneização em 2 mL ácido tricloroacético (TCA) 0,1%, contendo aproximadamente 20% de polivinilpolipirrolidona (PVPP). O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm durante 15 min a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, o sobrenadante foi transferido para outro eppendorf.

Determinação dos teores de malondialdeído

Para a leitura de MDA foi realizada da seguinte maneira: em tubos de ensaio, no qual foi adicionado 250 μL do extrato vegetal, 1.000 μL de solução composta por ácido tricloroacético (TCA - 20%) e ácido tiobarbitúrico (TBA - 0,5%); as soluções foram mantidas em banho-maria a $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 min e, em seguida, passando por um rápido resfriamento por 10 min. Antes da leitura em espectrofotômetro a 535 e 600 nm.

Determinação dos teores de peróxido de hidrogênio

A mensuração do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) procedeu-se da seguinte maneira: Em tubos de ensaio adicionou-se 800 μL de solução 1 M de iodeto de potássio (KI) e 200 μL do extrato vegetal e mais 200 μL de tampão fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) 100 mM (pH 7,0).

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

As amostras permaneceram em gelo e no escuro durante 1 hora. Após este período, as amostras foram retiradas do gelo e mantidas em temperatura ambiente para estabilização da reação, e em seguida realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 390 nm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de área foliar

As medidas do índice de área foliar aos 60, 90 e 150 DAP diferiram entre os genótipos, mas aos 90 DAP foi constatada significância da interação GxRh. Não houve efeito dos fatores sobre AF aos 120 dias (Tabela 1).

A interação dos efeitos de genótipos e regime hídrico aos 90 dias mostrou que a variedade RB92579 apresentou a maior AF no regime sequeiro, superando os outros genótipos. A variedade RB867515 também exibiu elevados valores de AF, mostrando-se inferior à RB92579 apenas aos 90 dias, no regime de sequeiro (Tabela 2). A partir dos 90 dias, em que a cultura se encontra na fase de perfilhamento, BATISTA et al. (2015) afirmam que esse é o período mais crítico no que se refere aos efeitos do déficit hídrico na produtividade, pois é quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização das trocas gasosas com a atmosfera.

SUDHAKAR et al (2010) observaram que as diferenças entre variedades de cana-de-açúcar, no que se refere ao índice de área foliar, expressaram-se mais à medida que diminuía a umidade do solo (80 dias após a imposição do estresse), em função dos regimes de rega a que foram submetidos. ALMEIDA et al. (2008) avaliaram padrões de crescimento e de produção de variedades de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica, em cana-planta e cana-soca, esses autores não identificaram diferença entre as variedades na fase de estabelecimento da cultura, mas registraram que em ambas as fases de cultivo (cana-planta e cana-soca) a variedade RB92579 apresentou atributos de crescimento e produção superiores às demais.

Altura do colmo

Para este caráter, de acordo com a ANAVA da Tabela 3, não se observou efeito da interação entre os fatores em nenhum dos períodos avaliados, embora aos 60 e 90 dias a dissimilaridade tenha ocorrido entre os genótipos e os ambientes de forma individualizada, enquanto aos 120 dias, não foi constatado nenhuma significância tanto para os fatores isolados, como para a interação, já aos 150 dias o efeito do fator regime hídrico foi significativo.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

A diferença entre os genótipos traduziu-se principalmente pela menor altura do colmo da variedade RB992587 em relação às demais variedades aos 60 e 90 DAP (Tabela 4), enquanto aos 120 e 150 DAP, como foi observado anteriormente, nas tabelas 3 e 4, as variedades não mostraram diferença entre as médias nesses períodos. Uma vez que a maior parte do cultivo de cana-de-açúcar ocorre em regime de sequeiro no Brasil, a cultura está sujeita à ocorrência de déficit hídrico em determinadas fases de seu desenvolvimento, isso ocorre devido à irregular distribuição sazonal das chuvas nas regiões produtoras e à ocorrência de veranicos, que frequentemente ocorrem no período chuvoso (BATISTA et al., 2015), ainda assim, pode-se comprovar na tabela 4, onde ao longo de toda a pesquisa, que o regime irrigado expressou maiores médias, mesmo o sequeiro tendo suas condições amenizadas devido a chuva ocorrida em campo (figura 1). Vale ressaltar que o crescimento do colmo é uma das características da cana-de-açúcar que mais sofre alterações em relação a escassez hídrica, resultando em graves prejuízos quanto a produção de fitomassa e no rendimento de sacarose ao final do ciclo da cultura (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

Número de colmos

Para o Rh percebeu-se uma diferenciação nos quatro períodos avaliados, possivelmente por ter sido um ano de distribuição pluviométrica atípica (Figura 1), induzindo maior interferência do Rh sobre as variedades estudadas, onde os resultados de NC aos 120 DAP e AF aos 150 DAP expressaram significância estatística para a interação entre os fatores (GxRh). Quanto ao comportamento da cultura frente ao número de colmos observou-se também que nos primeiros períodos de avaliação (60 e 90 DAP), a diferença estatística se deve aos fatores G e Rh isoladamente (Tabela 5).

Os testes de comparação de média para os períodos de 60 e 90 DAP mostram que o regime de sequeiro inibiu a emissão de novos colmos, independente do genótipo avaliado (Tabela 6). Por outro lado, nesses mesmos períodos, observando as médias dos genótipos, as médias da variedade RB92579 foram maiores do que as obtidas pela RB992587 em número de colmos, coincidindo com os resultados encontrados por ALMEIDA et al (2008) para essa variedade no que se refere ao perfilhamento.

As avaliações aos 120 e 150 DAP mostraram efeito da interação entre genótipos e regimes hídricos (Tabela 7). Os genótipos apresentaram diferentes padrões de comportamento em função do sistema de irrigação adotado, possivelmente essa diferenciação de

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

comportamento deve-se ao alto índice pluviométrico atípico ocorrido durante a pesquisa (Figura 1).

Aos 120 DAP a RB992587 e RB867515 apresentaram maiores médias no sequeiro, em conjunto com a RB92579 e RB931011 regime sequeiro (Tabela 7). A emissão de perfilhos pela cana-de-açúcar começa em torno dos 40 dias após o plantio e pode ter duração de até 120 dias, sendo considerada uma das fases de crescimento características da cultura (RAMESH, 2000). ECCO et al (2014) ressaltam que o perfilhamento é mais rápido na cana-soca devido ao sistema radicular já está estabelecido, enquanto que na cana-planta o sistema radicular ainda está por se desenvolver, e que o perfilhamento sofre influência tanto do recurso hídrico como de fatores endógenos, como o estágio fenológico.

A permanência no regime de sequeiro por 150 DAP reduziu o número de colmos na maioria das variedades. A exceção para este comportamento foi a RB992587, que apresentou uma média baixa mesmo no regime irrigado, corroborando com a afirmativa de RAMESH (2000) no qual perfilhamento caracteriza-se como uma das fases mais exigentes em água na cultura canavieira.

Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo (DC) mostrou-se sensível ao regime hídrico ao longo de todo o experimento, expressando diferenças significativas desde aos 60 até os 150 DAP, enquanto que o efeito isolado do genótipo foi significativo aos 90 e aos 150 DAP, mas constatou-se também a significância para a interação GxRh aos 90 DAP (Tabela 8).

Aos 90 dias o diâmetro dos colmos das variedades RB99587 foi maior no regime de sequeiro, já a RB867515 expressou médias elevadas em ambas as condições, enquanto a RB92579 e RB931011 tiveram maior destaque no regime irrigado (Tabela 9).

A RB867515 aos 150 DAP destaca-se por ser a variedade com maior média em conjunto com a RB92579 e RB931011. As médias obtidas nos períodos de 120 e 150 DAP, as médias da variedade RB92579 (2,95 e 3,00 cm) (Tabela 8) assemelham-se com as obtidas na pesquisa de SILVA et al (2012), cujo valor médio do diâmetro foi de 2,67 cm a partir dos 132 dias, avaliando essa variedade no segundo ciclo no submédio vale do São Francisco.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Atividade da catalase

A enzima CAT mostrou-se sensível aos fatores estudados. No decorrer da pesquisa foi constatado efeito significativo da interação GxRh, excetuando aos 90 dias, quando os fatores se distinguiram isoladamente (Tabela 10).

A atividade da CAT foi maior aos 90 DAP nas plantas irrigadas (Tabela 11), entretanto, estimava-se que as maiores concentrações enzimática ocorressem no regime de sequeiro, onde ocorre maior estresse sobre a cultura. Essa diferenciação pode ser devida a ocorrência de chuvas durante a pesquisa, o que reduziu o estresse no campo de sequeiro, como pode constar na figura 1, onde mostra elevados índices de precipitação, considerado um período atípico na área.

Retornado aos 60 DAP, a RB992587 e a RB92579 expressaram maiores médias no regime de sequeiro, em conjunto com a RB931011 no irrigado e a RB867515 em ambas as condições de irrigação. Aos 120 DAP, os resultados foram diferentes, no meio irrigado destacaram-se as variedades RB992587, RB92579 e RB931011, e no sequeiro apenas a RB867515, sendo essas as variedades com as maiores médias observadas nesse período. Já aos 150 DAP, apenas a RB867515 no sequeiro expressou a maior média de atividade da CAT (Tabela 12).

AS variedades RB867515 e RB92579 apresentando atividades mais elevadas, principalmente a RB867515, onde esboçou as mais altas médias de CAT durante todas as etapas avaliadas, principalmente no ambiente em sequeiro (Tabela 12).

Embora a CAT tenha maior importância em culturas que possuem metabolismo C3 devido ao processo de fotorrespiração, e por ser comumente produzida nos peroxissomos, a sua constatação na cana-de-açúcar (que é uma planta C4) tem sua relevância devido a possibilidade de identifica concentrações mais elevadas de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), visto que é a ERO de maior mobilidade, passando facilmente pelas camadas lipídicas, também pelo sua alta reatividade e por consequência a produção do radical hidroxila ($*OH$), corroborando com FERREIRA & MATSUBARA (1997).

Atividade do ascorbato peroxidase

Segundo a ANAVA (Tabela 13), em todos os períodos de estudo foram identificados efeito significativos para as interações entre variedades e regime hídrico, pelo teste de F. Em

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

vista da interferência do ambiente sobre os genótipos, os mesmos comportaram-se de forma diversificada ao decorrer da pesquisa. No sistema irrigado a diferença entre os genótipos expressou-se após os 60 DAP. Nesta primeira avaliação as maiores médias encontraram-se nas plantas do campo irrigado e a RB931011 não diferiu entre os ambientes.

Esse padrão repetiu-se na avaliação seguinte, com o diferencial de que a RB92579 demonstrou o mesmo comportamento em ambas as condições hídricas (Tabela 14).

Aos 120 DAP para as atividades da APX, o grupo cuja maiores médias é formado pelas variedades RB867515 e RB931011 ambas no sequeiro, e a RB92579 no irrigado. Já ao final do experimento a RB867515 e RB931011 no ambiente irrigado e a RB92579 no sequeiro mostraram as mais altas atividades.

A cana-de-açúcar possui um bom ajustamento às condições aos quais está sujeita, mesmo em pequena intensidade, as variedades demonstram comportamentos distintos em diversas áreas, e quando são avaliados em condições hídricas contrastantes, ocorrem frequentemente variações no posicionamento relativo dos mesmos, deste modo, a interação entre o genótipo e o regime hídrico evidencia uma alta importância, assim corroborando com NÓBREGA & DORNELAS (2006).

A atividade das enzimas CAT e APX foram similares ao decorrer da pesquisa expressando maiores índices aos 150 dias, com o diferencial de que os valores para CAT foram maiores no ambiente de sequeiro, enquanto para APX foi no irrigado, já as menores médias foram observadas no período anterior, aos 120 dias

Relação biometria X atividade enzimática

A partir do momento em que a cultura encontra-se sob estresse, a tendência é de haver o aumento da atividade enzimática no controle a presença das EROs enquanto ocorre o estacionamento do crescimento, o que corrobora com a afirmativa de WILLADINO et al. (1997), onde a deficiência desse recurso compromete todo o metabolismo e, por conseguinte, o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da planta.

Entretanto a depender da variedade com a qual se está utilizando, essa pode apresentar uma elevada ação do sistema antioxidante, principalmente para a CAT (Tabelas 11 e 12), ao mesmo tempo em que mantém o seu desenvolvimento, tal ocorrência foi perceptível na variedade RB867515, para os caracteres biométricos a mesma apresentou as médias mais elevadas ao decorrer de toda a pesquisa. SOARES & MACHADO (2007) ressaltam que uma

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

redução da atividade da CAT levaria a um aumento de peróxido de hidrogênio, que poderia provocar a morte celular, que caracteriza a resposta de hipersensibilidade ao estresse.

A variedade RB92579 também apresentou comportamento semelhante a RB867515, entretanto, aos 150 DAP a variedade estacionou o seu crescimento, principalmente em NC (Tabela 7), enquanto investia na produção da APX. DEUNER et al (2008) ressalta a importância de se estudar a APX, onde afirmam que o fechamento estomático, induzido pelo H_2O_2 é revertido pela aplicação de ácido ascórbico, presente na reação da APX, um dos mais abundantes antioxidantes produzidos pelas plantas.

A CAT não se mostrou tão ativa para essa variedade (apenas aos 60 e 90 DAP) (Tabela 12), o que também indica não haver excesso de peróxido de hidrogênio, pois sabe-se que ao contrário da APX, que possui alta afinidade ao H_2O_2 , a CAT atua removendo o excesso da ERO (HENDGES et al., 2015).

As variedades RB992587 e RB931011, demonstraram baixo desenvolvimento quando comparadas as demais, o maior destaque dessas variedades foi observado para a atividade da CAT aos 60 e 120 DAP, onde apresentaram médias estatisticamente semelhantes às variedades RB867515 e RB92579 (Tabela 12).

Teores de malondialdeído

Para essa variável foram identificadas diferenças significativas para as interações dos fatores desde a primeira coleta de material para as avaliações bioquímicas até o final (Tabela 15). Percebeu-se que a RB931011 apresentou maior teor de MDA durante a pesquisa (Tabela 16), de tal modo que aos 120 dias essa variedade apresentou altas taxas em ambas condições de irrigação.

Segundo MACHADO et al. (2009), o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera.

O MDA é conhecido como um marcador molecular para designar peroxidação lipídica em células de plantas submetidas a diferentes estresses abióticos, entre eles o hídrico (DAVEY et al., 2005), o que indica que a RB931011 sofreu maiores danos à membrana plasmática. Enquanto a variedade RB92579 não expressou aos 90, 120 e 150 DAP, médias significativas de malondialdeído quando comparada aos dois regimes hídricos. A RB867515

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

também mostrou rápida ação do de controle da ERO decorrente do estresse pelo déficit hídrico, mesmo apresentando índices elevados de peroxidação lipídica tanto aos 90 quanto aos 120 dias.

Teores de peróxido de hidrogênio

As interações GxRh foram significativas durante todas as etapas de avaliação (Tabela 17). Os genótipos comportaram-se de modos diferenciados em cada período de estudo, havendo variedades que expressaram maiores teores de peróxido de hidrogênio no regime irrigado ao invés do sequeiro, essas alterações certamente sem devem pela ocorrência da precipitação durante a realização da pesquisa (Figura 1).

Aos 60 DAP, a variedade RB992587 apresentou maior produção de peróxido em ambas as condições de irrigação, em conjunto com a RB867515 e RB931011, sendo no sequeiro. Já aos 90 DAP constatou-se, novamente, a RB992587 nos dois regimes de irrigação com as maiores médias de H₂O₂, seguida pela RB931011 no irrigado (Tabela 18). As menores médias observadas foram aos 90 dias, ocorrendo logo em seguida a elevação principalmente no campo sob estresse hídrico.

Na avaliação dos 120 DAP, observa-se a formação do maior grupo com médias mais elevadas da ERO, as variedades RB992587 e RB92579 sendo essas variedades com produções elevadas nos dois regimes de irrigação, podendo acrescentar a RB867515 e RB931011 ambas em sequeiro. Nesse período pode ser constatado que os maiores teores de H₂O₂ foram obtidos no campo em sequeiro, o que era esperado, visto que essa condição favorece a formação da ERO, devido a perturbação da homeostase da planta, o que corrobora com a afirmativa de MITTLER (2002).

Aos 150 DAP, a RB992587 evidenciou mais uma vez teores elevados sob os dois regimes hídricos, acompanhada da variedade RB92579 no sequeiro. Pode-se observar que as médias da variedade RB992587 foram bastante altas ao longo de toda a pesquisa, independentemente da presença ou não da irrigação (Tabela 18), apresentando teores elevados, inclusive aos 150 DAP onde expressou maiores médias de H₂O₂.

A presença elevada de peróxido não quer dizer precisamente que a cultura encontra-se sob estresse visto que é um dos subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético e em concentrações compatíveis com a homeostase redox celular (MAIA et al., 2012), entretanto, é devido ao seu excesso, sua alta mobilidade e, segundo FERREIRA & MATSUBARA (1997), por participar da reação de formação de ERO mais danosa, o *OH⁻, que ocorre a peroxidação

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

lipídica e conseqüentemente a elevação dos teores de MDA, a partir disso, torna-se de grande relevância quantificá-la.

Relação sistema antioxidante X EROs

As variedades RB867515 e RB92579 apresentaram maiores desempenho quanto ao crescimento e tolerância ao estresse oxidativo causado pela limitação hídrica. Principalmente a RB867515 que mostrou rápida ação do sistema antioxidante principalmente da CAT, ou seja, as atividades enzimáticas dessas variedades foram superiores ao ponto de reduzirem os danos provenientes da ERO, de modo que os teores de H₂O₂ e MDA foram menores quando comparadas às RB992587 e RB931011.

Pode-se observar que a variedade RB931011 apresentou maiores teores de H₂O₂ ao decorrer da pesquisa, indicando que a variedade encontra-se sob esgotamento hídrico, pois o peróxido de hidrogênio é dito com como a molécula mais apropriada para a função de sinalização, onde o seu acúmulo é uma resposta prévia a vários estresses, entre eles o hídrico, devido a seu tempo de meia-vida ser maior, por possuir maior estabilidade e capacidade de propagar-se livremente através das membranas celulares (FERREIRA & MATSUBARA, 1997).

Do mesmo modo que foi observado em H₂O₂, as médias de malondialdeído para a variedade RB931011 também foram maiores, tais resultados já eram esperados, visto que as presenças de peróxido de hidrogênio foram elevadas, logo a ocorrência de peroxidação lipídica resultará na formação de MDA na planta, o que aponta a ocorrência do dano oxidativo na cana-de-açúcar.

Tanto a variedade RB867515 quanto a RB92579, comprovaram serem as mais utilizadas no mercado canavieiro nordestino (RIDESA, 2010a), não havendo “surpresa” quanto a identificação de alguma variedade superior a essas já estabelecidas.

CONCLUSÕES

A RB867515 manteve-se mais tolerante ao estresse oxidativo, ao mesmo tempo em que manteve seu crescimento comprovado pelos estudos dos caracteres biométricos.

A variedade RB92579 também destaca-se pela alta atividade enzimática, embora havendo redução de seu crescimento tanto em diâmetro como em número de perfilhos.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

A RB867515 pode ser indicada como variedade mais adequada às condições de produção na Miriri Alimentos e Bioenergia, seguida pela RB92579.

Tanto a variedade RB867515 quanto a RB92579, comprovaram seu elevado uso no mercado da cana-de-açúcar, onde ambas expressaram boa tolerância as condições de déficit hídrico.

As demais variedades estudadas apresentaram menor tolerância aos efeitos da escassez hídrica.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 1. Índice de pluviometria obtido pela estação agrometeorológica da Miriri Alimentos.

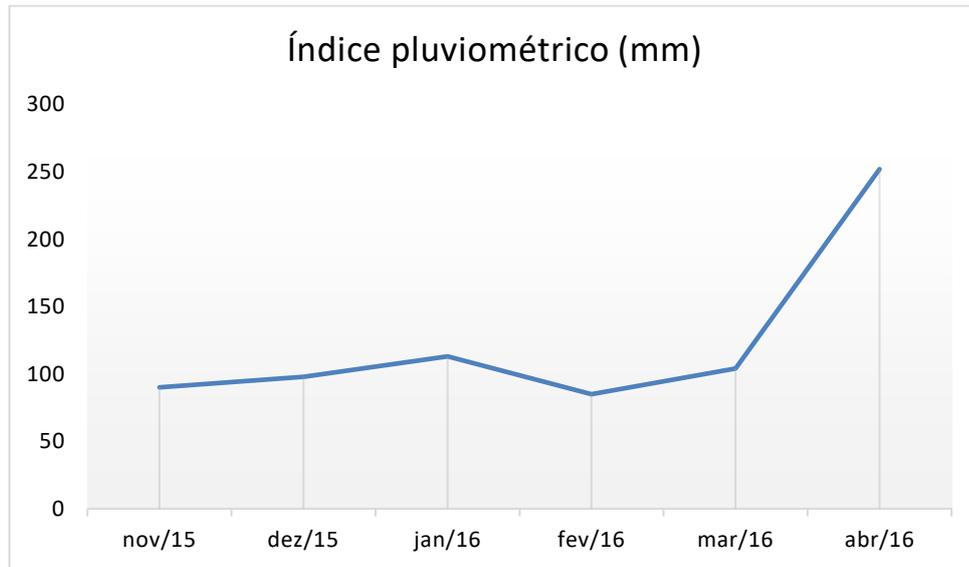


Tabela 1. Resumo da análise de variância para o índice de área foliar (AF) em cm², nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
AF	60	5.655,71 **	58,73 ns	1.202,83 ns	536,66	134,45	17,23
	90	11.517,87 **	126,70 ns	3.636,60 **	592,16	315,06	7,72
	120	2.262,07 ns	25.067,55 ns	2.138,18 ns	4.645,41	405,27	16,82
	150	25.332,29 **	2.080,37 ns	2.265,64 ns	3.329,74	448,63	12,86

*; **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste

F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 2. Índice de área foliar (AF) em cm², de quatro variedades de cana-de-açúcar (G) cultivados em dois regimes hídricos (Rh), aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	60 DAP	90 DAP		
			Irrigado	Sequeiro	
AF	RB992587	123,39 ab	301,88 Abc	287,22 Ab	
	RB867515	140,45 ab	357,80 Aa	306,81 Bb	
	RB92579	164,61 a	334,91 Aab	372,41 Aa	
	RB931011	109,37 b	272,79 Ac	286,69 Ab	
	DMSa	---	42,55		
	DMSg	50,05	52,58		
		Genótipos	120 DAP	150 DAP	
		RB992587	426,56 a	431,42 ab	
		RB867515	401,87 a	515,46 a	
		RB92579	391,13 a	452,17 ab	
	RB931011	401,53 a	395,48 b		
	DMSg	147,27	99,72		

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a altura do colmo (AC) em cm, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
AC	60	813,10 **	3.655,74 **	282,90 ns	134,75	106,58	10,89
	90	700,15 **	1.859,13 **	122,81 ns	136,73	112,10	10,43
	120	639,96 ns	664,23 ns	404,29 ns	361,08	117,63	16,15
	150	1.707,27 ns	3.240,00 *	530,20 ns	732,54	171,30	15,80

*; **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 4. Altura do colmo (AC) em cm, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos (Rh), aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
AC	RB992587	97,66 b	105,48 b	113,30 a	157,00 a
	RB867515	115,56 a	121,08 a	126,60 a	180,00 a
	RB92579	113,02 a	117,36 ab	121,70 a	184,50 a
	RB931011	100,08 a	104,49 ab	108,90 a	163,70 a
	DMSg	25,08	25,27	32,84	46,77
	Regime hídrico	60 DAP	90 DAP	150 DAP	
	Irrigado	116,14 a	118,92 a	180,30 a	
	Sequeiro	97,02 b	105,29 b	162,30 b	
	Fcal	27,13	13,60	4,42	
	Ftab	0,00	0,10	4,46	

Médias seguidas pelas mesmas letras na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (para genótipos) ou pelo teste de F (para Rh).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para o Número de colmos (NC) em colmos/ m, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio						Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo				
NC	60	107,09 **	75,63 **	18,43 ns	8,95	28,38	10,55		
	90	107,09 **	75,63 **	18,43 ns	8,95	31,38	9,54		
	120	65,09 *	148,23 **	59,83 *	15,20	35,18	11,08		
	150	47,09 *	319,23 **	52,89 *	14,83	29,88	12,89		

*; **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 6. Número de colmos (NC) em colmos/ m, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar em função dos fatores isolados (genótipo e regime hídrico), aos 60 e 90 dias após o plantio (DAP).

Variável	Regime hídrico	60 DAP	90 DAP
NC	Irrigado	29,80 a	32,80 a
	Sequeiro	27,00 b	30,00 b
	Fcal	8,45	
	Ftab	0,71	
	Genótipos	60 DAP	90 DAP
	RB992587	24,20 b	27,2 b
	RB867515	28,60 ab	31,6 ab
	RB92579	32,20 a	35,2 a
	RB931011	28,50 ab	31,5 ab
	DMS	6,47	

Médias seguidas pelas mesmas letras na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de F (para Rh) ou pelo teste de Tukey (para genótipos).

Tabela 7. Número de colmos (NC) em colmos/ m, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos (Rh), aos 120 e 150 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	120 DAP		150 DAP	
		Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
NC	RB992587	32,00 Aa	35,80 Abc	28,80 Ab	29,60 Aa
	RB867515	33,80 Aa	31,00 Ac	30,00 Aab	24,20 Ba
	RB92579	33,80 Ba	42,60 Aa	35,60 Aa	27,80 Ba
	RB931011	33,40 Ba	39,00 Aab	36,40 Aa	26,60 Ba
	DMSa	5,05		4,99	
	DMSg	6,74		6,65	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 8. Resumo da análise de variância para o Diâmetro do colmo (DC) em cm, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
DC	60	0,021 ns	0,748 **	0,003 ns	0,026	1,23	13,00
	90	0,062 **	0,571 **	0,058 **	0,012	2,33	4,62
	120	0,039 ns	0,352 *	0,028 ns	0,052	2,95	7,77
	150	0,786 *	2,252 **	0,216 ns	0,174	3,00	13,90

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

Tabela 9. Diâmetro do colmo (DC) em cm, de quatro genótipos (G) de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos (Rh) aos 90 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	90 DAP		150 DAP
		Irrigado	Sequeiro	
DC	RB992587	2,30 Ab	2,22 Aa	2,61 b
	RB867515	2,39 Aab	2,24 Aa	3,25 a
	RB92579	2,62 Aa	2,26 Ba	3,03 ab
	RB931011	2,48 Aab	2,10 Ba	3,13 ab
	DMSa	0,19		---
	DMSg	0,23		0,58
	Regime Hídrico	60 DAP	120 DAP	150 DAP
	Irrigado	1,37 a	3,04 a	3,24 a
	Sequeiro	1,09 b	2,85 b	2,77 b
	Fcal	29,20	6,71	12,92
Ftab	0,00	1,51	0,12	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL e minúsculas na VERTICAL não diferem entre si pelo teste de Tukey (para as médias da interação GxRh, e para o efeito isolado dos Genótipos aos 150 DAP) ou pelo teste F (para o efeito isolado do Rh aos 60, 120 e 150 DAP).

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 10. Resumo da análise de variância para a atividade da catalase (CAT) em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e em sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio								
		Genótipos		Regime hídrico		GxRh		Resíduo	Média	CV (%)
CAT	60	1.158,70	ns	167,73	ns	13.221,90	**	436,31	132,20	15,80
	90	4.444,88	**	39.779,51	**	236,25	ns	137,67	106,15	11,05
	120	5.226,54	**	2.177,99	**	4.260,30	**	79,89	58,43	15,30
	150	1.197,26	**	239.799,16	**	15.657,32	**	254,49	145,75	10,95

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

Tabela 11. Atividade da catalase (CAT) em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$ de quatro genótipos de cana-de-açúcar aos 90 dias após o plantio (DAP) em dois regimes hídricos.

Variável	Genótipos	90 DAP
CAT	RB992587	81,93 c
	RB867515	129,81 a
	RB92579	116,09 ab
	RB931011	96,76 bc
	DMSg	25,35
	Regime hídrico	90 DAP
	Irrigado	137,68 a
	Sequeiro	74,61 b
	DMSa	20,52

Médias de cada fator seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 12. Atividade da catalase (CAT) em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, de quatro genótipos de cana-de-açúcar aos 60, 120 e 150 dias após o plantio (DAP) em dois regimes hídricos.

Variável	Genótipos	60 DAP		120 DAP		150 DAP	
		Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
CAT	RB992587	74,74 Bc	170,83 Aa	47,89 Aa	61,01 Ab	102,63 Ba	156,85 Ac
	RB867515	150,56 Aab	143,90 Aa	55,27 Ba	128,42 Aa	31,14 Bc	277,49 Aa
	RB92579	122,38 Ab	130,52 Aab	52,88 Aa	32,54 Bc	63,16 Bbc	233,73 Ab
	RB931011	172,92 Aab	91,75 Bb	48,15 Aa	41,25 Ac	76,34 Bab	224,62 Ab
	DMSa	36,52		15,63		27,9	
	DMSg	45,13		19,31		34,47	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL e minúsculas na VERTICAL não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para o ascorbato peroxidase (APX) em $\mu\text{mol AsA mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio		
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh
APX	60	12.328.174,83 **	34.082.698,23 **	4.791.998,29 **
	90	10.433.150,17 **	76.485.433,60 **	5.250.153,67 **
	120	6.098.263,89 **	10.933.839,23 **	5.874.000,89 **
	150	4.615.996,47 ns	74.272.600,90 **	40.190.245,37 **
	DAP	Resíduo	Média	CV (%)
	60	587.481,10	4.458,68	17,19
	90	1.038.960,70	5.241,05	19,45
	120	146.678,35	2.210,28	17,33
	150	2.035.134,40	7.037,70	20,27

*; **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 14. Atividade do ascorbato peroxidase (APX) em $\mu\text{mol AsA mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, de quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos, aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	60 DAP		90 DAP		
		Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	
APX	RB992587	5.340,6 Aa	3.900,8 Bb	6.595,4 Aab	4.134,6 Bab	
	RB867515	4.925,2 Aa	3.050,2 Bbc	7.624,0 Aa	2.851,8 Bb	
	RB92579	5.156,4 Aa	1.461,2 Bc	7.081,8 Aab	5.772,4 Aa	
	RB931011	6.104,8 Aa	5.730,2 Aa	5.194,2 Ab	2.674,2 Bb	
	DMSa	1.340,26		1.782,34		
	DMSg	1.656,09		2.202,36		
			120 DAP		150 DAP	
			Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
		RB992587	3.308,2 Ab	2.087,2 Ba	7.086,8 Ab	8.025,4 Aa
		RB867515	2.117,6 Ac	1.714,2 Aa	11.460,6 Aa	3.912,8 Bb
	RB92579	4.516,6 Aa	1.435,2 Ba	6.279,0 Ab	6.465,0 Aab	
	RB931011	990,0 Ad	1.513,2 Aa	8.775,0 Aab	4.297,0 Bb	
	DMSa	669,69		2.494,53		
	DMSg	827,51		3.082,37		

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 15. Resumo da análise de variância para os teores de malondialdeído (MDA) em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
MDA	60	20,83 **	615,83 **	15,37 **	0,61	5,83	13,38
	90	22,07 **	0,70 ns	46,99 **	1,05	10,44	9,83
	120	63,46 **	0,53 ns	31,38 **	2,41	9,91	15,68
	150	67,50 **	8,19 **	36,53 **	0,88	15,34	6,12

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 16. Teores de malondialdeído (MDA) em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF, dos quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos, aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	60 DAP		90 DAP		
		Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	
MDA	RB992587	1,50 Ba	7,26 Ac	14,70 Aa	9,79 Bbc	
	RB867515	2,92 Ba	9,68 Ab	8,35 Bb	11,85 Aab	
	RB92579	1,29 Ba	8,74 Abc	9,51 Ab	7,81 Ac	
	RB931011	1,93 Ba	13,35 Aa	8,65 Bb	12,82 Aa	
	DMSa	1,37		1,79		
	DMSg	1,69		2,22		
			120 DAP		150 DAP	
		Genótipos	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
		RB992587	9,18 Bb	13,10 Aa	17,66 Ba	20,18 Aa
		RB867515	11,38 Aab	7,44 Bb	13,87 Ac	13,65 Ac
	RB92579	5,49 Ac	7,77 Ab	15,33 Abc	15,78 Ab	
	RB931011	13,12 Aa	11,79 Aa	16,32 Aab	9,95 Bd	
	DMSa	2,72		1,64		
	DMSg	3,36		2,03		

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 17. Resumo da análise de variância para os teores de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF, nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivados nos regimes hídricos (50% irrigado e sequeiro).

Variável	DAP	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hidrico	GxRh	Resíduo		
H_2O_2	60	7,63 **	32,20 **	2,55 **	0,29	5,47	9,89
	90	4,05 **	0,71 **	2,32 **	0,09	2,81	10,72
	120	4,29 **	3,09 *	2,89 **	0,49	5,12	13,72
	150	14,19 **	1,35 **	8,91 **	0,12	5,06	6,78

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 18. Teores de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em µmol g⁻¹ MF, de quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em dois regimes hídricos, aos 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP).

Variável	Genótipos	60 DAP		90 DAP		
		Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	
H ₂ O ₂	RB992587	5,52 Aa	5,85 Abc	3,55 Aa	3,71 Aa	
	RB867515	4,71 Ba	7,22 Aa	2,31 Ab	2,72 Ab	
	RB92579	2,98 Bb	5,39 Ac	2,12 Ab	2,18 Ab	
	RB931011	5,09 Ba	7,02 Aab	3,79 Aa	2,09 Bb	
	DMSa	0,95		0,53		
	DMSg	1,17		0,65		
			120 DAP		150 DAP	
		Genótipos	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
		RB992587	6,11 Aa	5,06 Aa	6,67 Aa	6,34 Aa
		RB867515	3,67 Bc	4,92 Aa	4,17 Ac	3,54 Bb
	RB92579	5,23 Aab	6,17 Aa	4,50 Bc	6,55 Aa	
	RB931011	4,36 Abc	5,45 A a	5,62 Ab	3,06 Bb	
	DMSa	1,23		0,60		
	DMSg	1,52		0,74		

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.L.; SILVA, M.A.; TEODORO, L.; HOLANDA, L.A.; NETO, G.D.S. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, v.72, n.3, p.262-270, 2013.

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant Cell & Environment**. v.24, p.1337-344, 2001.

ALMEIDA, A.C.S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G.V.S.; FILHO, G.M.; JÚNIOR, R.A.F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1441-1448, 2008.

BATISTA, E.L.S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G.B.; SILVA, T.G.F.; BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p.215-229, 2015.

BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T.R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.453-460, 2014.

BERRS, L. S. J. R.; SIZER, I.W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v.195, n.1, p.133-140, 1952.

BRADFORD, M.M.: A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

CARNEIRO, M.M.L.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P.V.; TEIXEIRA, S.B.; SOUSA, C.P.; BACARIN, M.A.; MORAIS, D.M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4 p.754-763, 2011.

CARVALHO, F.E.L.; LOBO, A.K.M.; BONIFÁCIO, A.; MARTINS, M.O.; NETO, M.C.L.; SILVEIRA, J.A.G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.416-423, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar**. Brasília: DF, CONAB. v.2, n.1, 2016. 28p.

CORTE, V.B.; BORGES, E.E.L.; LEITE, H.G.; PEREIRA, B.L.C; GONÇALVES, J.F.C. Estudo enzimático da deterioração de sementes de *Melanoxylon brauna* submetidas ao envelhecimento natural e acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.1 p.83-91, 2010.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 382p

DAVEY, M. W.; STALS, E.; PANIS, B.; KEULEMANS, J.; SWENNEN. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. **Analytical Biochemistry**, Nova York, v.347, p.201-207, 2005.

DEUNER, S.; ALVES, J.D.; FRIES, D.D.; ZANANDREA, I.; LIMA, A.A.; HENRIQUE, P.C.; GOULART, P.F. Peróxido de hidrogênio e ácido ascórbico influenciando a atividade de enzimas antioxidantes de mudas de cafeeiro. **Revista Ceres**, v.55, n.2, p.135-140, 2008.

DILLEWIJN, C. V. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1957. 374p.

DINIZ, J.M.T. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. **HOLOS**, v.3, 2013.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

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**, v.5, n.1, 2014.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 04, p.356–362, 2008.

FERREIRA, A.L.A.; MATSUBARA, L.S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, p. 61-68, 1997.

FILHO, J.T.C.; SERAPHIN, E.S. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, n.2, p.199-204, 2001.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Arch. Biochem. Biophys.** v.125, p.189-198, 1968.

HENDGES, F.B.; RAMBO, C.R.; ALCASSA, L.P.; LIEBL, J.; VENDRUSCOLO, E.CG; COSTA, A. C.T. Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p.52-63, 2015.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SMITH, D.M.; THORBURN, P.J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005.

MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1575-1582, 2009.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

MAIA, J.M.; SILVA, S.L.F.; VOIGT, E.L.; MACÊDO, C.E.C.; PONTE, L.F.A.; SILVEIRA, J.A.G. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 342-349, 2012.

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

MONTEIRO, J.G.; CRUZ, F.J.R.; NARDIN, M.B.; SANTOS, D.M.M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa agropecuária. Brasileira**, v.49, n.1, p.18-25, 2014.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v.22, p.867-880, 1981.

NÓBREGA, J.C.M.; DORNELAS, M.C. Biotecnologia e melhoramento da cana-de-açúcar. In: PINTO, A.S. (Ed). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2006. p.39-56.

OLIVEIRA, A.B.; FILHO, E.G.; FILHO, E.J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Centro Científico Conhecer**, v. 06, N.11; 2010.

PEREIRA, J.W.L.; FILHO, P.A.M.; ALBUQUERQUE, M.B.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, Roseane, C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.4, p.766-773, 2012.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.185, p.83-89, 2000.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

REDDY, A.R.; CHAITANYA, K.V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.1189-1202, 2004.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: RIDESA, 2010a. 136p.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Liberação nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: RIDESA, 2010b. 64p.

SCHMILDT, E.R.; NASCIMENTO, A.L.; CRUZ, C.D.; OLIVEIRA, J.A.R. Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.51-58, 2011.

SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J.F.A.; SOUZA, L.S.B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.500-509, 2012.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.1, n.1, p.9-19, 2007.

SOUZA, L.C.; SIQUEIRA, J.A.M.; SILVA, J.L.S.; COELHO, C.C.R.; NEVES, M.G.; NETO, C.F.O. Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p.240-249, 2013.

SUDHAKAR P, LATHA P, BABU AM. Evaluation of sugarcane genotypes for water use efficiency and thermo stability tolerance under imposed moisture stress at formative stage. **Sugar Tech**, v.12, n.1, p.72-75, 2010.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

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.

CAPÍTULO III

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS FASES DE ESTABELECIMENTO EM CONDIÇÕES HÍDRICAS DISTINTAS

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Adaptabilidade e estabilidade de variedades de cana-de-açúcar nas fases de estabelecimento em condições hídricas distintas

Nivaldo Correia de Andrade Neto¹, Pedro Henrique Souza¹, Terezinha Camara², Lilia Willadino², Carlos Henrique de Azevedo Farias³.

1. Aluno do Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Rua Dom Manoel de Medeiros S/N, CEP: 52171-900. Bairro de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco – Brasil.

2. Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

3. Doutorado em Recursos Naturais. pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

* Autor correspondente: teca.camara@gmail.com

RESUMO

Objetivou-se estimar a adaptabilidade e estabilidade para quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes de irrigação. O experimento foi realizado na microrregião canavieira da empresa Miriri Alimentos e Bioenergia S.A, no município de Santa Rita, PB. O delineamento experimental realizado foi em blocos casualizados com dois fatores, 4x2. No decorrer da pesquisa constatou-se que as variedades RB867515 e RB92579 apresentaram maior estabilidade fenotípica, comprovando que são as variedades mais produtivas e conseqüentemente mais utilizadas no mercado da cana-de-açúcar. O regime hídrico considerado mais favorável para o melhor desempenho da cultura foi o campo sob irrigação aplicando 50 % da demanda hídrica. A adaptabilidade e estabilidade podem contribuir tanto para a identificação de genótipos amplamente moldados com alto rendimento, e promovendo a recomendação de variedades, e seus estudos são ferramentas valiosas para o manejo das variedades em cana-de-açúcar.

Palavras chave: Peristase, Melhoramento Genético, Estresse hídrico.

ABSTRACT

The objective was to estimate the adaptability and stability for four sugarcane varieties submitted to two irrigation regimes. The experiment was carried out in the sugarcane microregion of the company Miriri Alimentos and Bioenergia S.A, in the municipality of Santa Rita, PB. The experimental design was in randomized blocks with two factors, 4x2. In the course of the research, it was found that the varieties RB867515 and RB92579 presented greater phenotypic stability, proving that they are the most productive varieties and consequently more used in the sugarcane market. The water regime considered more favorable for the best performance of the crop was the field under irrigation applying 50% of the water demand. Adaptability and stability can contribute both to the identification of broadly shaped genotypes with high yield and to promoting the recommendation of varieties, and their studies are valuable tools for the management of varieties in sugarcane.

Key words: Peristase, Genetical enhancement, Water stress.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), como todas as outras culturas está sujeita a diversas condições desfavoráveis geradoras de estresses, tais como a ocorrência de limitação de água (ECCO et al., 2014).

A avaliação, identificação e indicação de variedades de cana-de-açúcar mais tolerantes a condições diversificadas, são de fundamental importância para o desenvolvimento da cultura. Uma das ferramentas para auxiliar essa etapa do melhoramento genético da cana-de-açúcar, de acordo com VERÍSSIMO et al. (2012) é o estudo da interação Genótipo x Ambiente (GxA). Afirmando também que os estudos a respeito da interação têm sido objeto de diversas pesquisas, em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, no Brasil.

A análise de crescimento permite o estudo de diferentes variedades de uma cultura em diversos ambientes de produção (ABREU et al, 2013). Novas variedades têm gerado ganhos de aproximadamente 30% na produtividade e qualidade da agroindústria (BARBOSA et al., 2000; HOLANDA et al., 2014), já que elas vêm com recomendação de áreas com maior ou menor adaptação edafoclimática. Essas novas variedades de cana-de-açúcar são obtidas anualmente nos programas de melhoramento existentes no Brasil e, de acordo com SILVA (2008), uma variedade ideal é aquela que tem alta média de produção, mas um baixo grau de flutuação em seu desempenho quando cultivada sob diversas condições ambientais.

A definição de adaptabilidade para fins agrícolas é voltada para a resposta produtiva do genótipo à melhoria ambiental. Enquanto a definição mais aceita de estabilidade refere-se à previsibilidade dessa resposta às variações ambientais (JÚNIOR et al., 2013).

A estabilidade refere-se à capacidade de uma variedade apresentar um comportamento altamente previsível, mesmo em condições de variações ambientais, podendo ser estática ou dinâmica. A estabilidade estática, também denominada de estabilidade biológica, é definida quando uma variedade apresenta um comportamento constante, independentemente das variações ambientais, não apresentando qualquer desvio em relação ao seu potencial, como por exemplo, a resistência a doenças (BORÉM & MIRANDA, 2005).

A estabilidade dinâmica, também conhecida como estabilidade agrônômica, está associada aos caracteres quantitativos, quando uma variedade responde de modo previsível à variação do ambiente, de modo que somente os desvios relacionados com a reação geral do genótipo contribuem para a instabilidade. Segundo LANDELL & BRESSIANI (2008) quando a estabilidade é estimada adequadamente, passa a ser uma importante ferramenta para o manejo das variedades em cana-de-açúcar.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Deve-se ressaltar que a interação entre genótipos e ambientes é um fenômeno de ocorrência natural que faz parte da evolução das espécies, promovendo o aparecimento de genótipos estáveis e aptos a ambientes específicos ou de comportamento geral e aptos a várias condições de ambientes, de tal modo que essa interação pode inflacionar as estimativas de variância genética, resultando em grandes estimativas dos ganhos genéticos, esperados com a seleção e, conseqüentemente, menor êxito, dos programas de melhoramento (SILVA et al., 2013).

Como se sabe, em sua grande maioria, os genótipos apresentam comportamentos diferenciados em relação aos distintos ambientes de cultivo. Essa interação genótipos x ambientes é o componente que mais complica o trabalho do melhorista, por exigir que o melhoramento seja conduzido nas condições em que o genótipo será utilizado (BUENO et al., 2001).

De acordo com LANDELL & BRESSIANI (2008) afirmam que o uso de dados biométricos consiste no método de avaliar o desenvolvimento vegetativo da cultura de cana-de-açúcar, onde são avaliados, caracteres como a altura, o perfilhamento e o diâmetro do colmo de cana. Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar utilizam dessa ferramenta na comparação de genótipos nos processos de seleção varietal.

É fundamental a identificação de genótipos de comportamento previsível e responsivos às alterações ambientais para condições amplas ou específicas de cultivo (SILVEIRA et al., 2012). O melhoramento convencional é ainda hoje o principal meio de obtenção de variedades melhoradas, fruto basicamente da hibridação, para a aquisição de variabilidade genética, o melhoramento em cana-de-açúcar percorre posteriormente, as fases de seleção de seedlings e de clones, visando identificar os genótipos de maior potencial produtivo e agroindustrial em diversos ambientes edafoclimáticos (NÓBREGA & DORNELAS, 2006).

A busca de variedades com ampla adaptabilidade e boa estabilidade envolve o estudo de metodologias que propiciem estimativas mais precisas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, onde o ideal é que a metodologia de avaliação seja de fácil interpretação, com uso de poucas estatísticas, confiável e que possa ser usada tanto para pequeno quanto para grande número de ambientes (SCHMILD et al., 2011).

Segundo BASTOS et al. (2007), diferentes metodologias para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade têm sido desenvolvidas e, ou, aprimoradas, esses procedimentos baseiam-se

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

em análise de variância, regressão linear, regressão não linear, análise multivariada e estatísticas não paramétricas.

A seleção de variedades, através dessa análise inclui a interação genótipo x ambiente (GxA) o que proporciona melhor interpretação dos resultados experimentais do que quando se despreza a interação onde se propõe que os resultados experimentais obtidos sejam submetidos à análise de variância conjunta, para avaliação da significância da interação (BUENO et al., 2001).

A escolha do melhor método de avaliação adaptabilidade e estabilidade deve ser baseada na facilidade de estimação e interpretação dos dados; e na possibilidade de uso tanto para pequeno quanto para grande número de ambientes (SCHMILDT & KRAUSE, 2003).

O método de ANNICCHIARICO (1992) é baseado na análise de variância conjunta dos experimentos, onde é considerado todos os ambientes e o posterior desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e da interação genótipos x ambientes, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo (CRUZ & REGAZZI, 2001).

A variação de ambientes dentro de cada genótipo é utilizada como estimativa da estabilidade, de tal forma que o genótipo que proporcionar menor quadrado médio, nos vários ambientes, é considerado o mais estável. Este método apresenta a vantagem de poder ser aplicado nas situações em que se dispõe de um número restrito de ambientes.

GOMES et al. (2002) afirmam que o a metodologia de ANNICCHIARICO (1992) tem a vantagem de auxiliar na recomendação das variedades observando o risco de apresentarem desempenho abaixo de um dado padrão, como a média geral, onde quanto maior for o índice de confiança da variedade, menor será sua probabilidade de insucesso.

Este trabalho objetiva estimar a adaptabilidade e estabilidade em relação às variedades submetidas a dois regimes de irrigação, identificando quais variedades possuem maior probabilidade de sucesso de desenvolvimento e em qual condição de irrigação é mais propícia à cultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação da pesquisa

O experimento foi realizado na microrregião canavieira da empresa Miriri Alimentos e Bioenergia S.A, no município de Santa Rita na Paraíba. As coordenadas geográficas que indicam a localização da pesquisa são: Latitude S 07° 06' 59" e longitude O 34° 58' 52", próximo à BR 101 e ao rio Una.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

O índice de precipitação do município é de aproximadamente 1.300 mm e o solo é classificado como uma associação de Latossolo Vermelho Amarelo, com presença de fragipam e Latossolo Vermelho Amarelo, Latossólico, ambos de textura média. (FARIAS et al., 2008) e a temperatura média de 26 °C (DINIZ, 2013). Durante a pesquisa o índice de chuva esteve acima dos 100 mm chegando a 250 mm ao final da pesquisa (Figura 1).

A cana-semente utilizada na pesquisa foi proveniente dos viveiros de multiplicação da Miriri Alimentos e Bioenergia S/A e de unidades parceiras da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA).

A demarcação, a disposição, a sementeira e os tratamentos iniciais do experimento dentro da empresa foram realizados no mês de novembro de 2015. As mudas foram distribuídas ao longo dos sulcos visando o adensamento de aproximadamente 20 gemas viáveis por metro linear.

Foram avaliadas quatro variedades de cana-de-açúcar, sendo elas: a RB992587; RB867515; RB92579 e RB931011. Essas foram selecionadas pelo fato da RB867515 e RB92579 serem amplamente utilizadas tanto pela empresa quanto em todo o Nordeste, seguidas pela RB931011 (RIDESA, 2010a; RIDESA, 2010b) e, por fim a RB992587, sendo uma variedade em processo de avaliação final de produtividade, onde posteriormente será lançada ao mercado canavieiro.

O delineamento experimental realizado foi em blocos casualizados com dois fatores, quatro genótipos (RB992587; RB867515; RB92579 e RB931011) e dois regimes hídricos (a 50 % da demanda da cultura e em sequeiro) nos lotes 40 e 44, respectivamente, da Miriri Alimentos e Bioenergia S/A.

Coleta dos dados biométricos

As aferições biométricas foram realizadas mensalmente durante os meses de janeiro a abril coincidindo com o período de 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP), que compreende as fases de estabelecimento e perfilhamento da cana-de-açúcar. Essas avaliações foram procedidas na segunda semana de cada mês, nas fases de estabelecimento e perfilhamento. As variáveis obtidas foram baseadas na metodologia Kuijper (Dillewijn, 1957) adotada pela RIDESA sendo elas o índice de área foliar (AF – cm²); altura do colmo (AC - cm); o número de colmos por metro linear (NC – colmos/m) e o diâmetro do colmo (DC - cm). Os valores foram obtidos para cada repetição no campo, foram obtidas três amostras, tanto no lote irrigado, quanto no de sequeiro.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Para avaliação da AF, observou-se na folha +3 da cana-de-açúcar, o seu comprimento, e a largura da região mais larga, em seguida, os valores obtidos, foram multiplicados por 0,7. Para a AC, observou-se da planta principal desde a sua base até o ponto mais alto, no qual a folha +1 se dobrava; para a obtenção do NC, foi realizado com o auxílio de uma fita métrica e/ou trena, na qual era contado o número de plantas em meio a distância de 1 m, essa mesma contagem de colmos procedeu-se observando as plantas com a altura igual ou acima de 30 cm. E para obter o valor do DC, com auxílio de um paquímetro digital, foi aferida a medida na base da folha +3.

Para a análise estatística das variáveis, foi utilizado o programa GENES versão 2013.5.1, elaborado por CRUZ (2006). Utilizando-se do modelo matemático para o Delineamento em Blocos Casualizados para dois fatores, genótipos x ambientes (Equação 1).

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_k + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Equação 1. Modelo estatístico utilizado para análise fatorial, onde: Y_{ijk} = valor fenotípico do caráter Y medido no material genético i, no ambiente j; m = média geral paramétrica dos dados em estudo; G_i = efeito do i-ésimo genótipo; A = efeito do j-ésimo ambiente experimental; B_k = efeito de k-ésimo bloco; GA_{ij} = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente; E_{ijk} = erro médio associado à observação Y_{ijk} .

O risco de adoção de uma determinada variedade foi determinado utilizando-se do procedimento de ANNICCHIARICO (1992). Determinou-se a porcentagem (Y_i) de cada variedade relacionada à média dos ambientes com o uso do programa GENES (CRUZ, 2006). Posteriormente, foi estimado o desvio padrão fenotípico percentual (S_i) de cada variedade. A partir dessas informações, foram estimados os índices de confiança (W_i) pela expressão, segundo GOMES et al. (2002):

$$W_i = Y_i - Z_{(1-\alpha)} S_i$$

Equação 2. Expressão para determinação do Índice de confiança para adaptabilidade e estabilidade. Onde: W_i : índice de confiança (%); Y_i : média geral do genótipo i em porcentagem; Z: percentil $(1 - \alpha)$ da função de distribuição normal acumulada; α : nível de significância; S_i : desvio padrão dos valores percentuais.

Ressalta-se que para a metodologia de ANNICCHIARICO (1992), o parâmetro de estabilidade é o índice de confiança W_i , onde o genótipo mais estável é aquele que apresentar valor superior à média ambiental maior que 100 % (CARVALHO et al., 2013). Quanto maior o valor do índice de recomendação mais estável será o genótipo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer da pesquisa foi possível constatar dinamismo entre os períodos avaliados e entre os caracteres biométricos, onde vale ressaltar o fato da pesquisa ter passado por um período de distribuição pluviométrica diferenciada do que ocorre comumente (Figura 1).

As variedades, segundo os dados da pesquisa para o caráter DC, expressaram índices muito próximos de modo que ao decorrer da pesquisa, foram-se alternando aquelas que superaram os 100 % de confiabilidade, embora a RB867515 se manteve mais estável.

De acordo com NÓBREGA & DORNELAS (2006), o conhecimento prévio do potencial produtivo, da adaptabilidade e estabilidade dos materiais nos mais diversos ambientes (nesse caso os regimes hídricos), e pelo maior período de tempo possível, é fundamental para que novas variedades sejam recomendadas para o cultivo com maior segurança.

Quanto a AF, nas fazes iniciais a RB867515 apresentava maior confiabilidade, seguida pela RB92579, mas a partir dos 120 dias a RB92579 superou a RB867515. Estas mesmas variedades expressaram altos índices de estabilidade para a AC ao longo de toda a pesquisa. Em NC a RB92579 manteve seus índices sempre acima dos 100 %, para essa variável também é perceptível que RB931011 expressou índices de confiança elevados, embora a sua taxa de perfilhamento, segundo a RIDESA (2010b), seja considerado médio em comparação as outras variedades.

Adaptabilidade e estabilidade aos 60 DAP

Não houve significância para as interações (GxRh). Foi observado diferenças nas variáveis AC e NC entre as variedades e entre os regimes hídricos de forma independente (Tabela 1), em AF apenas entre os genótipos e DC no controle de irrigação. As médias para os caracteres avaliados foram superiores no campo irrigado (Tabela 2), pois nas fases iniciais se visa o estabelecimento da cultura, a demanda por água é bastante elevada.

Nesse período de avaliação, apenas a variedade RB867515 demonstrou maior estabilidade para todos os caracteres estudados, seguida pela RB92579 (Tabela 3), isso se deve pelo fato da RB867515 possui a característica de alta capacidade de brotação mesmo em plantio tardio e sob baixas temperaturas, enquanto a variedade RB92579 também se destaca na cana planta e na soca RIDESA (2010a).

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Adaptabilidade e estabilidade aos 90 DAP

As diferenças significativas para a interação GxRh foram observadas nas variáveis AF e DC, enquanto AC e NC, diferiram entre os genótipos e os ambientes de modo independente (Tabela 4), segundo VENCOVSKY & BARRIGA (1992), o comportamento diferencial das variedades nos diferentes ambientes, dificultam a recomendação.

Assim como aos 60 DAP, o regime irrigado demonstrou maior adaptabilidade para todos os caracteres avaliados aos 90 DAP (Tabela 5). Nesse tempo a RB92579 esboçou maiores índices de confiança quanto à estabilidade fenotípica para a maioria dos caracteres (AF, NC e DC), isso se deve principalmente à constituição genética dessa variedade, pois ela possui alto perfilhamento tanto na cana planta quanto na soca, elevando-se também a área foliar, entretanto seu crescimento é definido como lento (RIDESA, 2010a), devido a isso em AC a RB867515 apresenta maior estabilidade (Tabela 6), pois essa variedade também possui a característica de sua velocidade de crescimento ser considerada médio, embora a RB931011 seja mais rápida (RIDESA, 2010a), não expressou alta estabilidade fenotípica para AC, nem para NC, cuja produção é considerada moderada.

Adaptabilidade e estabilidade aos 120 DAP

Nesse período de avaliação apenas os caracteres AF e AC não apresentaram diferença significativa, tanto para a interação GxRh quanto para os fatores isolados. NC foi o único caráter a apresentar diferenciação relevante para a interação entre os fatores, isso indica que existe dependência entre os genótipos com os ambientes, e que os fatores edafoclimáticos exercem influência sobre os caracteres observados (ROSSE et al., 2002), enquanto DC diferiu unicamente entre os ambientes (Tabela 7).

As variáveis AF, AC e DC indicam o ambiente irrigado como mais favorável, já NC aponta o sequeiro como mais adaptável às variedades (Tabela 8). O perfilhamento é uma das fases mais exigentes em água na cultura canavieira (RAMESH, 2000), esperava-se que em todas as variáveis designassem o regime irrigado como sendo mais vantajosa para a cultura, certamente essa divergência procedeu-se devido a nesse período haver uma crescente precipitação, como consta na figura 1, o que amenizou as condições de escassez hídrica sobre o campo.

No tocante a estabilidade fenotípica, diferentemente das avaliações anteriores, houve maior dinamismo dos genótipos frente aos caracteres estudados, em AF, apenas a RB99587

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

ultrapassou os 100 %, enquanto AC foram: RB867515 e RB92579; em NC: RB92579 e RB931011; e DC foram: a RB99587 e RB867515 (tabela 9).

Nesse mesmo período de avaliação, os estudos realizados por JÚNIOR et al. (2013), no qual visaram identificar clones de cana-de-açúcar produtivos, com boa estabilidade e adaptabilidade no estado de São Paulo, entre as variedades pesquisadas, também identificaram a variedade RB867515 como uma das mais promissoras devido à produtividade superior a das testemunhas, corroborando com os resultados obtidos por SILVEIRA et al. (2012), avaliando 15 genótipos de cana-de-açúcar em nove ambientes, onde a RB867515 apresentou maior adaptabilidade geral e estabilidade fenotípica.

Adaptabilidade e estabilidade aos 150 DAP

Assim como aos 120 DAP apenas o caráter NC apontou diferença estatística para a interação GxRh. A variável AF diferiu somente para o fator genótipo, enquanto AC entre os ambientes e DC para os dois fatores de forma independente (Tabela 10).

Para a avaliação do regime hídrico mais favorável, apenas AF indicou o ambiente sequeiro como mais adaptável à cultura (Tabela 11), assim como em NC aos 120 DAP, esperava-se a mesma resposta quanto ao regime irrigado ser mais favorável, em todos os períodos em que se realizou a pesquisa, visto que há melhores condições para o desenvolvimento da cultura (Tabela 11).

Como foi observado anteriormente, aos 120 DAP, essa mudança de comportamento das variedades onde chegam ao ponto de indicar o regime sequeiro com maior adaptabilidade seria devido a presença da chuva, onde nesse período alcançou o ápice de 250 mm (Figura 1), o que levou a amenizar as condições adversas de irrigação aos quais as variedades foram submetidas, o que resultou no estímulo para o crescimento da cultura.

Do mesmo modo que a avaliação aos 120 DAP, os resultados obtidos para os caracteres aos 150 DAP apresentaram resultados diversificados quanto a estabilidade. Em AF, a RB867515 expressou maior índice de confiança, para AC, foram as variedades RB867515 e RB92579, enquanto para NC tem-se as variedades RB92579 e RB931011, e por fim, em DC foram as variedades RB867515 e RB931011 (Tabela 12). Vale observar que a RB992587 não esboçou para nenhum caráter, dados de confiança superiores a 100 %.

Diante do observado, as variedades que apresentaram maiores desempenho ao longo da pesquisa, foram as variedades RB867515 e RB92579, por apresentarem maiores probabilidades de sucesso em função dos caracteres biométricos utilizados, principalmente em

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

relação à altura da planta, um dos caracteres mais observados em pesquisas de desenvolvimento e produtividade, e diante das condições aos quais foram submetidas.

Podendo confirmar o seu elevado uso no mercado canavieiro nordestino, de modo que possuem grande estabilidade frente aos diferentes regimes hídricos, o que pode entrar em concordância com a RIDESA (2010a).

CONCLUSÕES

As variedades RB867515 e RB92579 apresentaram maior estabilidade fenotípica,

O regime hídrico considerado mais favorável para o melhor desempenho da cultura foi o campo sob irrigação aplicando 50 % da demanda hídrica da cultura.

A adaptabilidade e estabilidade podem contribuir tanto para a identificação de genótipos amplamente moldados com alto rendimento, e promovendo a recomendação de variedades, e seus estudos são ferramentas valiosas para o manejo das variedades em cana-de-açúcar.

Tanto a RB867515 quanto a RB92579 mostraram maior superioridade, comprovando que são as variedades mais produtivas e conseqüentemente mais utilizadas no mercado da cana-de-açúcar.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 1. Índice de pluviometria obtido pela estação agrometeorológica da Miriri Alimentos.

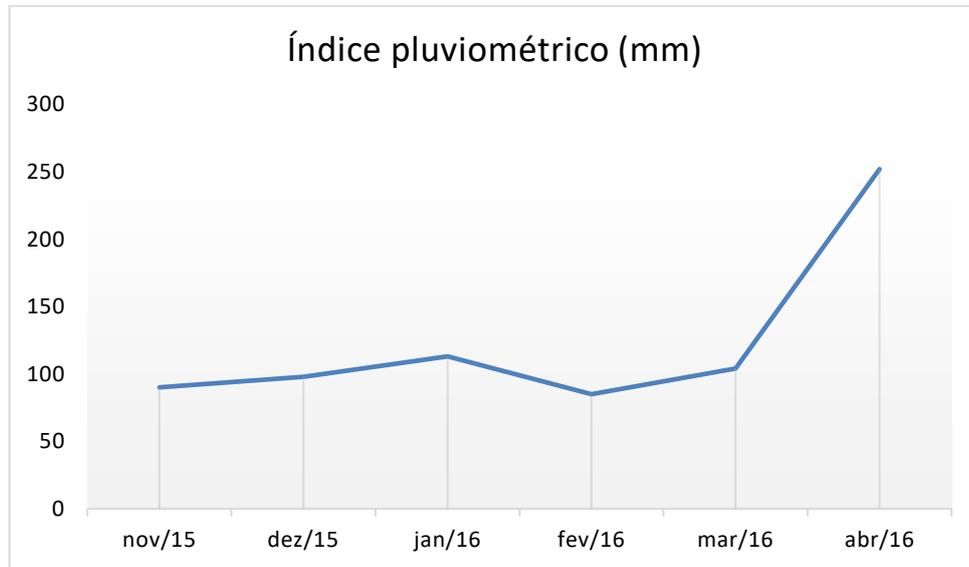


Tabela 1. Resumo da análise de variância aos 60 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).

DAP	Variáveis	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
60	AF	5.655,72 **	58,73 ns	1.202,83 ns	536,67	134,45	17,23
	AC	813,10 **	3655,74 **	282,90 ns	134,75	106,58	10,89
	NC	107,09 **	75,63 **	18,43 ns	8,95	28,38	10,55
	DC	0,02 ns	0,75 **	0,003 ns	0,03	1,23	13,00

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste

F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 2. Índices ambientais aos 60 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.

DAP	Variável	Regime hídrico	Média	Índice	Classe
60	AF	Irrigado	135,67	1,21	Favorável
		Sequeiro	133,24	-1,21	Desfavorável
	AC	Irrigado	116,14	9,56	Favorável
		Sequeiro	97,02	-9,56	Desfavorável
	NC	Irrigado	29,75	1,38	Favorável
		Sequeiro	27,00	-1,38	Desfavorável
	DC	Irrigado	1,37	0,14	Favorável
		Sequeiro	1,09	-0,14	Desfavorável

Tabela 3. Índices de confiança (Wi) aos 60 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).

DAP	Variável	Genótipo	Média	Média (%)	Desvio (%)	Wi (%)
60	AF	RB992587	123,39	91,81	6,71	89,98
		RB867515	140,45	104,48	3,68	103,48
		RB92579	164,61	122,32	16,88	117,70
		RB931011	109,37	81,39	6,48	79,61
	AC	RB992587	97,66	92,23	9,50	89,64
		RB867515	115,56	108,25	2,80	107,48
		RB92579	113,02	105,80	3,75	104,78
		RB931011	100,08	93,71	2,95	92,91
	NC	RB992587	24,20	85,21	2,13	84,63
		RB867515	28,60	100,79	0,07	100,77
		RB92579	32,20	113,82	9,79	111,14
		RB931011	28,50	100,18	7,59	98,11
	DC	RB992587	1,23	99,85	0,41	99,74
		RB867515	1,28	104,29	1,10	103,99
		RB92579	1,17	94,90	3,70	93,89
		RB931011	1,24	100,96	2,19	100,37

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 4. Resumo da análise de variância aos 90 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).

DAP	Variáveis	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
90	AF	11.517,87 **	126,70 ns	3.636,60 **	592,16	315,07	7,72
	AC	700,15 **	1.859,13 **	122,81 ns	136,73	112,10	10,43
	NC	107,09 **	75,63 **	18,43 ns	8,95	31,38	9,54
	DC	0,06 **	0,57 **	0,06 **	0,01	2,33	4,62

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

Tabela 5. Índices ambientais aos 90 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.

DAP	Variável	Regime hídrico	Média	Índice	Classe
90	AF	Irrigado	316,84	1,78	Favorável
		Sequeiro	313,29	-1,78	Desfavorável
	AC	Irrigado	118,92	6,82	Favorável
		Sequeiro	105,29	-6,82	Desfavorável
	NC	Irrigado	32,75	1,38	Favorável
		Sequeiro	30,00	-1,38	Desfavorável
	DC	Irrigado	2,45	0,12	Favorável
		Sequeiro	2,21	-0,12	Desfavorável

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 6. Índices de confiança (Wi) aos 90 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).

DAP	Variável	Genótipo	Média	Média (%)	Desvio (%)	Wi (%)
90	AF	RB992587	294,55	93,48	2,54	92,78
		RB867515	332,30	105,43	10,60	102,53
		RB92579	353,66	112,29	9,31	109,74
		RB931011	279,74	88,80	3,83	87,76
	AC	RB992587	105,48	94,23	3,08	93,38
		RB867515	121,08	107,80	4,90	106,46
		RB92579	117,36	104,86	3,95	103,78
		RB931011	104,49	93,12	2,13	92,53
	NC	RB992587	27,20	86,64	1,84	86,13
		RB867515	31,60	100,72	0,07	100,70
		RB92579	35,20	112,46	8,77	110,06
		RB931011	31,50	100,19	6,86	98,31
	DC	RB992587	2,26	97,25	4,76	95,95
		RB867515	2,32	99,67	2,86	98,89
		RB92579	2,44	104,74	3,27	103,84
		RB931011	2,29	98,34	4,35	97,15

Tabela 7. Resumo da análise de variância aos 120 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).

DAP	Variáveis	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
120	AF	2.262,07 ns	25.067,55 ns	2138,18 ns	4645,41	405,27	16,82
	AC	639,96 ns	664,23 ns	404,29 ns	361,08	117,63	16,15
	NC	65,09 *	148,23 **	59,83 *	15,20	35,18	11,08
	DC	0,04 ns	0,35 *	0,03 ns	0,05	2,95	7,77

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 8. Índices ambientais aos 120 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.

DAP	Variável	Regime hídrico	Média	Índice	Classe
120	AF	Irigado	430,31	25,03	Favorável
		Sequeiro	380,24	-25,03	Desfavorável
	AC	Irigado	121,70	4,08	Favorável
		Sequeiro	113,55	-4,08	Desfavorável
	NC	Irigado	33,25	-1,93	Desfavorável
		Sequeiro	37,10	1,93	Favorável
	DC	Irigado	3,04	0,09	Favorável
		Sequeiro	2,85	-0,09	Desfavorável

Tabela 9. Índices de confiança (Wi) aos 120 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).

DAP	Variável	Genótipo	Média	Média (%)	Desvio (%)	Wi (%)
120	AF	RB992587	426,56	105,18	1,67	104,72
		RB867515	401,87	99,23	1,63	98,79
		RB92579	391,13	96,77	5,87	95,16
		RB931011	401,53	98,82	5,83	97,23
	AC	RB992587	113,30	96,25	2,86	95,47
		RB867515	126,60	107,46	6,76	105,62
		RB92579	121,70	103,73	10,97	100,73
		RB931011	108,90	92,55	1,36	92,18
	NC	RB992587	33,90	96,37	0,18	96,32
		RB867515	32,40	92,61	12,80	89,11
		RB92579	38,20	108,24	9,31	105,69
		RB931011	36,20	102,79	3,30	101,88
	DC	RB992587	3,02	102,33	0,72	102,14
		RB867515	2,98	101,30	1,58	100,87
		RB92579	2,90	98,46	3,82	97,42
		RB931011	2,88	97,90	1,53	97,49

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 10. Resumo da análise de variância aos 150 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), nas quatro variedades de cana-de-açúcar cultivadas nos regimes hídricos (50 % irrigado e sequeiro).

DAP	Variáveis	Quadrado Médio				Média	CV (%)
		Genótipos	Regime hídrico	GxRh	Resíduo		
150	AF	25.332,29 **	2.080,37 ns	2.265,64 ns	3.329,74	448,63	12,86
	AC	1.707,27 ns	3.240,00 *	530,20 ns	732,54	171,30	15,80
	NC	47,09 *	319,23 **	52,89 *	14,83	29,88	12,89
	DC	0,79 *	2,25 **	0,22 ns	0,17	3,00	13,90

*, **: Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade respectivamente pelo teste F; ns: Não significativo pelo teste F.

Tabela 11. Índices ambientais aos 150 DAP para os caracteres índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm), apresentando por meio das médias entre os regimes hídricos, qual condição é mais favorável ao desenvolvimento da cultura.

DAP	Variável	Regime hídrico	Média	Índice	Classe
150	AF	Irrigado	441,42	-7,21	Desfavorável
		Sequeiro	455,84	7,21	Favorável
	AC	Irrigado	180,30	9,00	Favorável
		Sequeiro	162,30	-9,00	Desfavorável
	NC	Irrigado	32,70	2,83	Favorável
		Sequeiro	27,05	-2,83	Desfavorável
	DC	Irrigado	3,24	0,24	Favorável
		Sequeiro	2,77	-0,24	Desfavorável

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 12. Índices de confiança (Wi) aos 120 DAP das variedades de cana-de-açúcar em função dos caracteres: índice de área foliar (AF – cm²), altura do colmo (AC – cm), número de colmos (NC – colmos/m), e diâmetro do colmo (DC – cm).

DAP	Variável	Genótipo	Média	Média (%)	Desvio (%)	Wi (%)
150	AF	RB992587	431,42	96,21	4,08	95,10
		RB867515	515,46	114,91	1,18	114,59
		RB92579	452,17	100,71	6,79	98,86
		RB931011	395,48	88,17	1,53	87,75
	AC	RB992587	157,00	91,75	2,52	91,06
		RB867515	180,00	105,28	5,51	103,78
		RB92579	184,50	107,74	0,82	107,51
		RB931011	163,70	95,23	8,86	92,81
	NC	RB992587	29,20	98,75	15,10	94,62
		RB867515	27,10	90,60	1,61	90,16
		RB92579	31,70	105,82	4,31	104,64
		RB931011	31,50	104,83	9,18	102,32
	DC	RB992587	2,61	86,72	1,14	86,41
		RB867515	3,25	108,71	6,73	106,87
		RB92579	3,03	100,23	9,81	97,55
		RB931011	3,13	104,34	4,22	103,19

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.L.; SILVA, M.A.; TEODORO, L.; HOLANDA, L.A.; NETO, G.D.S. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, v.72, n.3, p.262-270, 2013.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v.46, n.1, p.269-278, 1992.

BARBOSA, G.V.S.; SOUZA, A.J.R.; ROCHA, A.M.C.; RIBEIRO, C.A.G.; FERREIRA, J.L.C.; SOARES, L.; CRUZ, M.M.; SILVA, W.C.M. **Novas variedades RB de cana-de-açúcar para Alagoas**. Maceió: UFAL; Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar, 2000. 16p.

BASTOS, I.T.; BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A.A.; COSTA, P.M.A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.4, p.195-203, 2007.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5ª edição. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 525p.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento genético de plantas – Princípios e procedimentos**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2001. 282p.

CARVALHO, E.V.; PELUZIO, J.M.; SANTOS, W.F.; AFFÉRI, F.S.; DOTTO, M.A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Agroambiente On-line**, v.7, n.2, p.162-169, 2013.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ª edição revisada. Viçosa, MG: Editora UFV, 2001. 390p.

DILLEWIJN, C. V. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1957. 374p.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

DINIZ, J.M.T. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. **HOLOS**, v.3, 2013.

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**, v.5, n.1, 2014.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356-362, 2008.

GOMES, M.S.; PINHO, R.G.V.; OLIVEIRA, J.S.; RAMALHO, M.A.P.; VIANA, A.C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho para produtividade de matéria seca e degradabilidade ruminal da silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.2, p.83-90, 2002.

HOLANDA, L.A.; SANTOS, C.M.; NETO, G.D.S.; SOUZA, A.P.; SILVA, M.A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v.19, n.4, p.573-584, 2014.

JÚNIOR, A.R.F.; ANDRADE, J.A.C.; SANTOS, P.C.S.; HOFFMANN, H.P.; CHAPOLA, R.G.; CARNEIRO, M.S.; CURSI, D.E. Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.72, n.3, p.208-216, 2013.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2008. p.101-155.

NÓBREGA, J.C.M.; DORNELAS, M.C. Biotecnologia e melhoramento da cana-de-açúcar. In: PINTO, A.S. (Ed). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2006. p.39-56.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.185, p.83-89, 2000.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: RIDESA, 2010a. 136p.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Liberação nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, PR: RIDESA, 2010b. 64p.

ROSSE, L.N.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, D.F. Comparação de métodos de regressão para avaliar a estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.1, p.25-32, 2002.

SCHMILDT, E. R.; KRAUSE, W. Metodologia univariada e multivariada para análise de adaptabilidade e estabilidade visando à indicação de cultivares de milho. **Revista Ceres**, v.50, n.290, p.471-487, 2003.

SCHMILDT, E.R.; NASCIMENTO, A.L.; CRUZ, C.D.; OLIVEIRA, J.A.R. Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.51-58, 2011.

SILVA, G.A.P.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARBONELL, S.A.M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, v.60, n.1, p.59-65, 2013.

SILVA, M.A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, v.67, n.1, p.109-117, 2008.

SILVEIRA, L.C.I.; KIST, V.; PAULA, T.O.M.; BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v.42, n.4, 2012.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

VERÍSSIMO, M.A.A.; SILVA, S.D.A.; AIRES, R.F.A.; DAROS, E.; PANZIERA, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.561-568, 2012.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variedades RB867515 e RB92579, expressaram boa tolerância as condições de déficit hídrico, assim como no quesito estabilidade e adaptabilidade, comprovando seu elevado uso no mercado da cana-de-açúcar.

Tanto a intensidade quanto a frequência da escassez hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação do crescimento da cana-de-açúcar.

O bom entendimento dos mecanismos de tolerância ao estresse abiótico nas variedades de cana-de-açúcar possibilita a identificação de variedades com maior tolerância, o que aumentará a viabilidade da cultura canavieira na área.

A combinação do fitomelhoramento com a fisiologia vegetal constitui um instrumento efetivo para a solução de problemas, como exemplo disso, a identificação de plantas mais tolerantes a insuficiência hídrica.

O melhorista deve considerar atentamente a interação genótipo x ambiente, onde o trabalho tende a ser desenvolvido no sentido da regionalização ser cada vez maior.

Estudos de adaptabilidade e estabilidade podem contribuir tanto para a identificação de genótipos amplamente moldados com alto rendimento, como também para o zoneamento agrônômico, a recomendação de variedades regionais e a escolha de locais de teste.

A importância dos programas de melhoramento de plantas é de altíssima importância no crescimento do setor canavieiro.

Variedades mais eficientes e adaptadas a diversas condições ambientais de cultivo são lançadas constantemente o que possibilita a seleção de materiais mais adaptados e com maior relevância quanto a produtividade.

APÊNDICES

INLUSTRAÇÕES E TABELAS

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Tabela 1. Croqui do experimento de avaliação de quatro variedades de cana-de-açúcar com irrigação para suprimento de 50% da demanda hídrica e em sequeiro.

Sistema irrigado					Sistema em sequeiro				
Bloco	Bloco	Bloco	Bloco	Bloco	Bloco	Bloco	Bloco	Bloco	Bloco
I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	3	4	2	4	2	4	3	1	1
3	2	1	3	3	3	2	1	2	4
4	1	2	1	2	4	1	2	3	2
2	4	3	4	1	1	3	4	4	3

Nº1 = RB992587; Nº2 = RB867515; Nº3 = RB92579; Nº4 = RB931011.

Tabela 2. Análise de variância (ANAVA) resumida para dois fatores: quatro genótipos e dois Regimes hídricos (irrigado e sequeiro).

Fonte de variação	GL
Blocos	4
Genótipos	3
Regimes hídricos	1
GxRh	3
Resíduo	28
Total	39

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

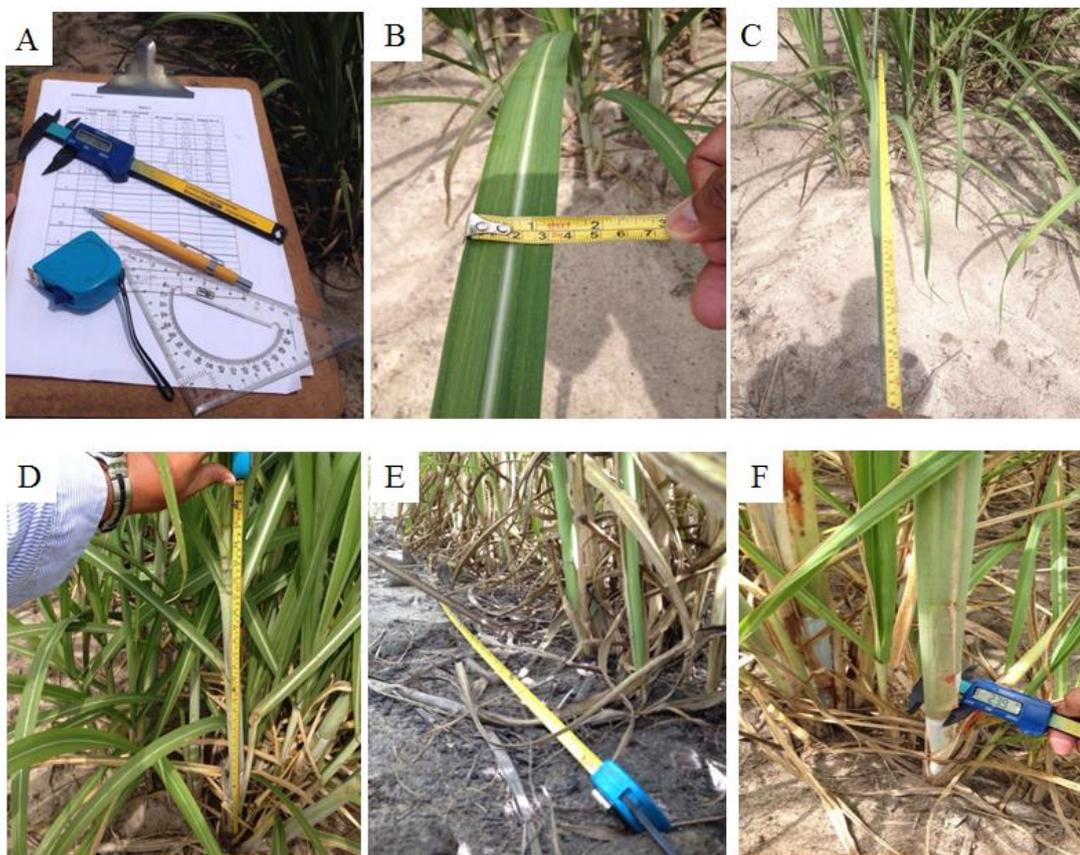
Figura 1. Localização da empresa Miriri Alimentos e Bioenergia S.A.



Fonte: Google Maps - <https://www.google.com.br/maps/place/Dislub/>.

NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 2. Material utilizado para obtenção dos dados biométricos em A; coleta de dados de Índice de Área Foliar (AF) em B e C; altura do colmo (AC) em D; número de colmos por metro linear (NC) em E; e diâmetro do colmo (DC) em F.



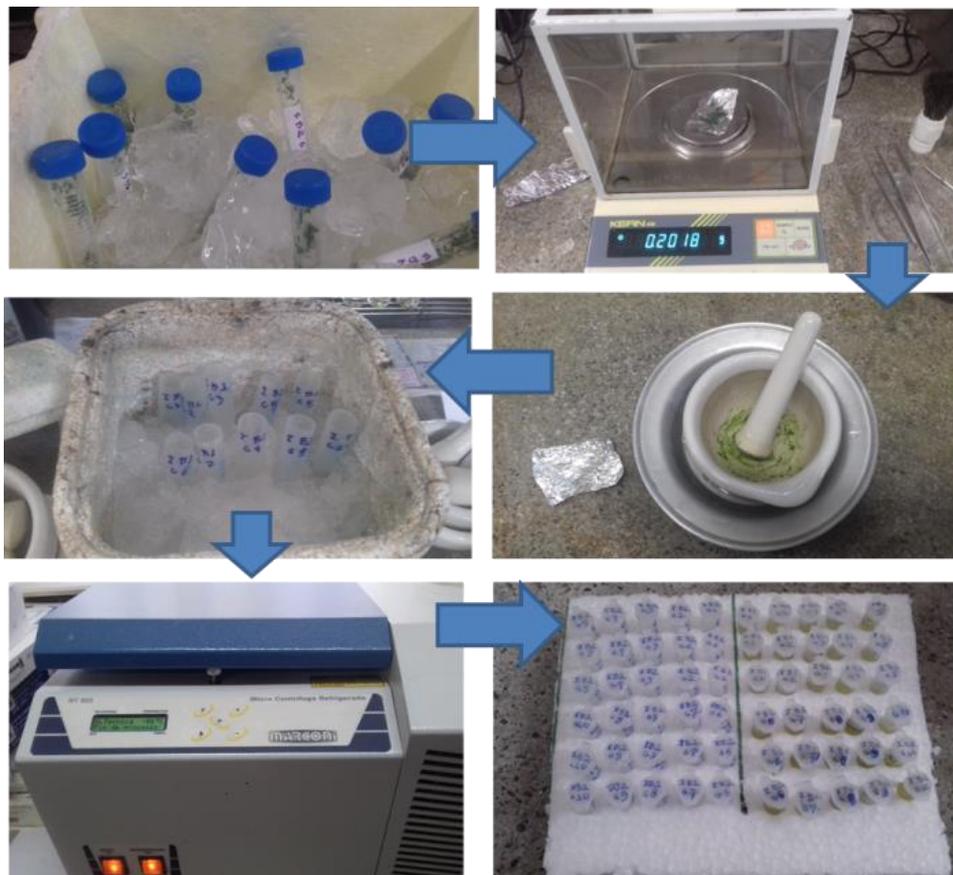
NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 3. Coleta de amostras de tecido foliar de cana-de-açúcar realizadas na Miriri Alimentos. Uma amostra da folha da cana-de-açúcar é coletada, é rapidamente embrulhada em papel alumínio e em seguida depositada em uma garrafa térmica contendo nitrogênio líquido.



NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 4. Procedimentos para a preparação do extrato vegetal para a determinação da atividade enzimática para catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). AS amostras são pesadas em balança de precisão, depositadas em cadinhos resfriados, onde adiciona-se o nitrogênio líquido, em seguida são maceradas, adicionado o polivinilpolipirrolidona (PVPP), e o tampão fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4). As amostras são centrifugadas e então é retirado o sobrenadante e depositadas em eppendorfs e levadas ao freezer para conservação.



NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 5. Procedimentos para a realização da leitura da ação enzimática da catalase (CAT) em espectrofotômetro. As amostras são descongeladas ao ponto de realizar a extração da amostra em uma cubeta de quartzo, adicionado o tampão fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo então a cubeta agitada rapidamente e depositada no espectrofotômetro.

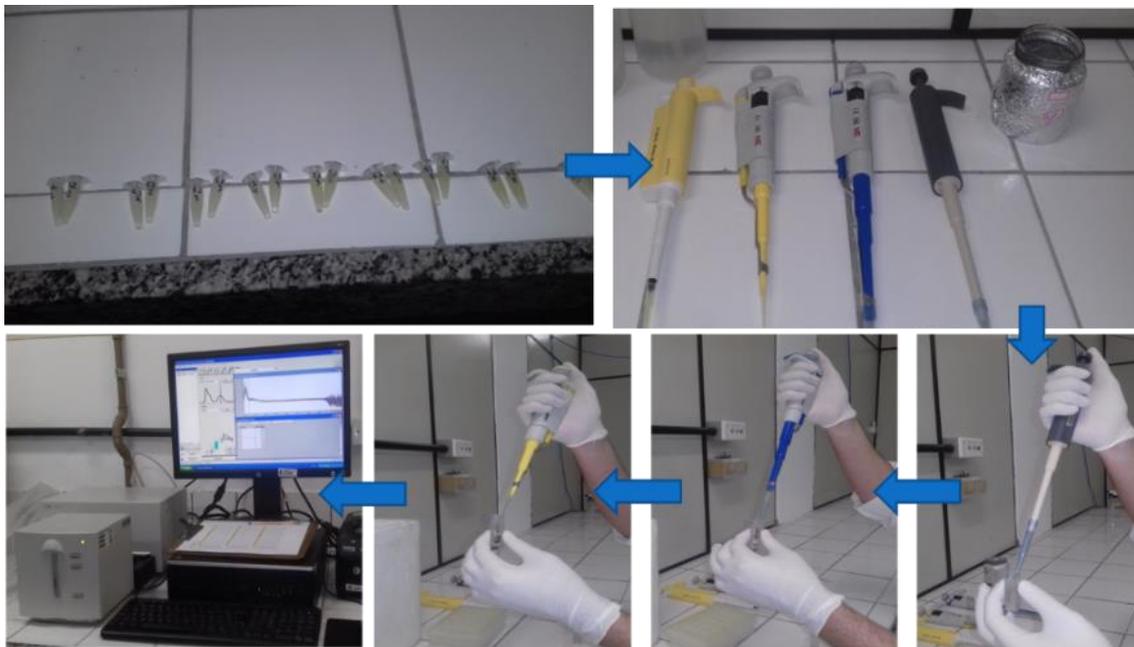


Figura 6. Procedimentos para a realização da leitura da ação enzimática do ascorbato peroxidase (APX) em espectrofotômetro. As amostras são descongeladas ao ponto de realizar a extração da amostra em uma cubeta de quartzo, adicionado o tampão fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) e ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) sendo então a cubeta agitada rapidamente e depositada no espectrofotômetro.



NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 7. Obtenção do extrato vegetal para determinação dos teores de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). As amostras são pesadas em balança de precisão, depositadas em cadinhos resfriados, onde adiciona-se o nitrogênio líquido, em seguida são maceradas, adicionado o polivinilpirrolidona (PVPP), e o ácido tricloroacético (TCA) 0,1%. As amostras são centrifugadas e então é retirado o sobrenadante e depositadas em eppendorfs.

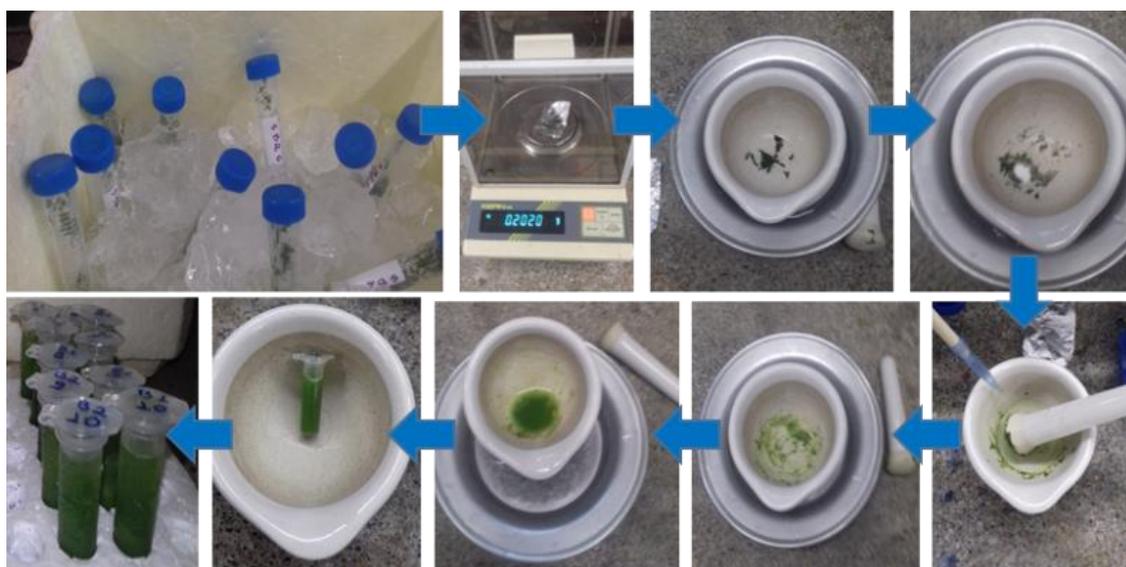


Figura 8. Procedimentos realizados no LCTV para a determinação de malondialdeído (MDA). Em pequenos tubos foram formadas soluções contendo o extrato vegetal adicionado de ácido tricloroacético (TCA - 20%) e ácido tiobarbitúrico (TBA - 0,5%), onde foram mantidas em banho maria, seguida por resfriamento em gelo até a realização da leitura no espectrofotômetro.



NETO, N.C.A. Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de...

Figura 9. Procedimentos realizados no LCTV para a determinação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Em pequenos tubos foram formadas soluções contendo o extrato vegetal adicionadas ao iodeto de potássio (KI) e tampão fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4). Em seguida foram mantidas em caixa de isopor contendo gelo, em ambiente ausente de luminosidade, passado o tempo estipulado, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro.

