

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
FRANCISCO DE ASSIS GOMES JUNIOR

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO PARCIAL E PLENA, COM  
DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE**

RECIFE-PE

2014

FRANCISCO DE ASSIS GOMES JUNIOR

**CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO PARCIAL E PLENA, COM  
DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora

Prof<sup>a</sup> Dra. Lilia Gomes Willadino

Coorientador

Dsc. José Nildo Tabosa

RECIFE-PE

2014

## Ficha catalográfica

G633c Gomes Junior, Francisco de Assis  
Cultivo da cana-de-açúcar sob irrigação parcial e plena,  
com diferentes níveis de salinidade / Francisco de Assis  
Gomes Junior. – Recife, 2014.  
48 f. : il.

Orientadora: Lilia Gomes Willadino.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Engenharia Agrícola, Recife, 2014.  
Referências.

1. *Saccharum officinarum* spp. 2. PRD 3. Estresse  
oxidativo I. Willadino, Lilia Gomes, orientadora II. Título

CDD 631

CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO PARCIAL E PLENA, COM  
DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 30 de Julho de 2014

---

Dra. Lilia Gomes Willadino  
ORIENTADORA

---

Dra. Elvira Maria Regis Pedrosa  
Examinador interno

---

Dra. Terezinha de Jesus Rangel Câmara  
Examinador interno

---

Dr. Gilberto de Souza e Silva Junior  
Examinador externo

RECIFE-PE

2014

## AGRADECIMENTOS

A Deus por trilhar meu caminho até aqui.

A minha mãe Zenaide Barbosa da Silva pelo incentivo, carinho e compreensão.

A minha família pelo apoio, amor, carinho, e por sempre acreditarem no meu potencial.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola por me oferecer a oportunidade de realização do curso.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos.

Aos amigos de Recife Thiago, Anderson, Marcos Felix, Luis Antonio, Fabio Santiago, Hammady Ramalho, Anderson Bob, Alan Cesar, Jucicléia, Rochele Vasconcelos, Raquele Lira, Caçula, Bismarck Carvalho, Rômulo Silva, Igor, Thaisa Antão, Nubia, Wanderson, Roberto, Eulampio, Diogenes, Nadielan, Natalia Cavalcanti, Gian Carvalho, Mercia Carvalho, Isabel de Jesus: “Valeu Galera!”.

A Prof<sup>a</sup> Lilia Gomes Willadino, pelos ensinamentos, paciência, amizade e, principalmente, confiança. Continue sempre assim.

Ao professor Ênio Farias França por ser a primeira pessoa aqui a confiar em mim e garantir a minha permanência no curso.

A Mauricio Antonio Coelho Filho, Tiberio Santos Martins, Eugenio Ferreira Coelho, Welson Lima Simões, Lucas Velame, Delfran Batista, Tarcisio Andrade, Lúcio Aderito, Victor Vinicius, Hélder Sampaio, Rafael Pombo, por todos ensinamentos e amizade.

A todos do grupo LCTV, sem a ajuda deste grupo de fato esta pesquisa não seria realizada: Felipe Martins, Gemima Melo, Laís, Lindomar, Wellington, Marciana, Marta, Rodolfo, Carla, Luciana.

Aos meus irmãos da vida, Rafael Silva, Douglas Elizeu, Miguel Guimarães, José Roberto, Ubirajara Oliveira, Vinicius Bernardo, Vinicius Lordello, Diogo Lordello, Pedro Ivo, que mesmo na distância sempre estavam presentes, ontem, hoje, amanhã e sempre: “Valeu Família Sisaleira!”.

A todos que contribuíram, mesmo que minimamente, para a realização deste trabalho;

A todos que torceram por mim e que porventura não foram citados.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”*

(Albert Einstein)

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	xii
INTRODUÇÃO GERAL .....	13
REVISÃO DE LITERATURA .....	14
Cana-de-açúcar .....	14
Mudanças climáticas .....	15
Águas subterrâneas, salobras e salinas .....	15
Molhamento parcial do sistema radicular .....	16
Parâmetros fisiológicos e de crescimento da cana-de-açúcar sob irrigação parcial e plena, submetida a diferentes níveis de salinidade.....	23
Resumo - .....	24
Introdução.....	26
Material e Métodos.....	27
Resultados e discussão .....	33
Referências bibliográficas .....	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	48

## **Cultivo da cana-de-açúcar sob irrigação parcial e plena, com diferentes níveis de salinidade**

**RESUMO** - O semiárido Brasileiro apresenta limitações ambientais em seu território como altas temperaturas, salinização do solo e água, irregularidade pluviométrica associada a uma grande demanda evaporativa. Nesse contexto destaca-se a salinização do solo e da água, causando um estresse secundário grave, conhecido como estresse oxidativo, no qual é caracterizado pelo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). O aumento na produção de ROS é responsável por diversos distúrbios metabólicos, que reflete diretamente na fisiologia do vegetal. Esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação plena e parcial do sistema radicular na produção de biomassa, e simultaneamente avaliar a resposta do sistema antioxidativo eliminador de ROS no estresse combinado (hídrico e salino) em cana-de-açúcar variedade RB931011. Mudanças de cana-de-açúcar procedentes do cultivo *in vitro* foram aclimatizadas durante 15 dias e em seguida submetidas a três lâminas de irrigação: plantas mantidas com 100% da capacidade de pote (T1-100CP-MF); plantas mantidas com 50% da capacidade de pote, (T2-50CP-MF); e plantas submetidas a 50% da capacidade de pote com molhamento alternado entre os dois lados do vaso (T3-50CP-MA). A alternância do lado irrigado foi de quatro dias. Foi utilizado quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação: 0,3 ds m<sup>-1</sup> (B1), 3,3 ds m<sup>-1</sup> (B2), 6,3 ds m<sup>-1</sup> (B3) 9,3 ds m<sup>-1</sup> (B4). A produção de biomassa da cana-de-açúcar sofreu uma redução superior a 45% nas plantas irrigadas com 50% CP-MF quando comparado à irrigação plena. Em condição de estresse salino, o teor relativo de água e o potencial hídrico foram as variáveis fisiológicas mais afetadas negativamente. As enzimas ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase apresentaram acréscimos em sua atividade nas plantas submetidas ao estresse combinado (hídrico e salino), evidenciando as respostas das plantas para evitar danos oxidativos.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum* spp., PRD, estresse oxidativo



## **Sugar cane cultivation under partial and full irrigation with different levels of salinity**

**Abstract-** The Brazilian semiarid environment presents limitations in its territory such as extreme temperatures, soil and water salinization, irregular rainfalls associated with a large evaporative demand. In this context, salinization of soil and water can be highlighted, causing serious secondary stress, known as oxidative stress, which is characterized by increased production of reactive oxygen species (ROS). The increased production of ROS is responsible for several metabolic disorders that directly reflects in the physiology of the plant. This work aimed to evaluate the effects of full and partial root system irrigation on biomass production, and, simultaneously, to assess the response of ROS scavenger antioxidative system in combined stress (water and salt) in sugar cane, variety RB931011. Seedlings of cane sugar derived from *in vitro* cultivation were acclimatized for 15 days and then subjected to three irrigation levels: plants maintained at 100% of pot capacity (T1-100CP-MF); plants maintained at 50% of pot capacity (T2-50CP-MF); plants subjected to 50% of pot capacity with alternate wetting between the two sides of the pot (T3-50CP-MA). The alternation of irrigated side was four days. Four levels of electrical conductivity of the irrigation water were used: 0.3 dS m<sup>-1</sup> (B1), 3.3 dS m<sup>-1</sup> (B2), 6.3 dS m<sup>-1</sup> (B3) and 9.3 dS m<sup>-1</sup> (B4). Biomass production of sugar cane suffered a reduction of over 45% in plants irrigated with 50% CP-MF compared to full irrigation. Under salt stress conditions, the relative water content and water potential were the physiological variables more negatively affected. Enzymes ascorbate peroxidase, catalase and superoxide dismutase showed increases in their activity in plants subjected to combined stress (water and salt), highlighting the responses of plants to prevent oxidative damage.

**Keywords:** *Saccharum officinarum* spp., PRD, oxidative stress.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química da água utilizada na irrigação com maior concentração. ....	28
Tabela 2. pH da solução do solo em função dos tratamentos hídricos e condutividade elétrica da água de irrigação.....	29
Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) entre lâminas de irrigação, condutividade elétrica da água e interação entre lâminas de irrigação x condutividade elétrica da água para as variáveis biométricas. ALT – Altura da planta; Ø – diâmetro do colmo; – número de folhas; Comp. – comprimento da folha; Larg. – largura da folha; AFT – área foliar total.....	33
Tabela 4. Comparação entre lâminas de irrigação em relação às variáveis de crescimento: altura (ALT), número de folhas (NF), comprimento (COMP), largura da folha +1 (LARG), e área foliar total (AFT) de plantas de cana-de-açúcar cultivada sob duas lâminas de irrigação e PRD.....	34
Tabela 5. Análise de variância (ANOVA) entre lâminas de irrigação, condutividade elétrica da água e interação entre lâminas de irrigação x condutividade elétrica da água para as variáveis: Massa fresca (MF); Massa seca (MS); Teor relativo de água (TRA); Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e Condutividade elétrica do solo (CEe). ....	36
Tabela 6. Comparação entre lâminas de irrigação em relação às variáveis: Massa fresca (MF); Massa seca (MS); Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ); Condutividade elétrica do solo (CEe). ...	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados de temperatura e umidade relativa do ar no período de fevereiro a abril de 2014, em Recife.....	29
Figura 2. Disposição das plantas nos vasos aos 45 DAT. ....	30
Figura 3. Esquema de numeração de folhas pelo sistema proposto por Kuijper.....	31
Figura 4. Altura de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.....	35
Figura 5. Área foliar de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP. ....	35
Figura 6. Massa fresca (A) e Massa seca (B) de plantas de cana-de-açúcar irrigadas com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.....	38
Figura 7. Teor relativo de água de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas. ....	38
Figura 8. Condutividade elétrica do solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.....	39
Figura 9. Potencial hídrico de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas (A) sob irrigação plena e (B) 50% CP. ....	39
Figura 10. Potencial hídrico de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas sob irrigação com 50% PRD.....	40
Figura 11. Atividade enzimática da APX em plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas sob irrigação com 100-CP-MF (A) e 50%-CP-MA (B).....	42
Figura 12. Atividade enzimática da Catalase (CAT) em plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas sob irrigação com 100-CP-MF (A) e 50%-CP-MA (B). ....	43
Figura 13. Atividade enzimática da Superóxido dismutase em plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 50% CP-MF.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

APX – Peroxidase do ascorbato

CAT – Catalase

CP-MF- Capacidade de pote sob molhamento fixo (CONVENCIONAL)

CP-MA- Capacidade de pote sob molhamento alternado (PRD)

DAT – Dias após tratamento.

EUA – Eficiência de uso da água

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – peróxido de hidrogênio

IPA – Instituto Agronômico de Pernambuco

MDHAR – Redutase do monodehidroascorbato

O<sub>2</sub><sup>•-</sup> – Superóxido

OH<sup>•</sup> - Radical hidroxila

<sup>1</sup>O<sub>2</sub> – Oxigênio "singlet"

O<sub>2</sub> – Oxigênio molecular

POD – Peroxidase

ROS – Espécies reativas de oxigênio

SOD – Superóxido dismutase

## INTRODUÇÃO GERAL

Para manutenção de altos níveis produtivos, os vegetais necessitam de condições ideais de nutrição, temperatura, suprimento hídrico, dentre outros. Os cultivos, no entanto, são constantemente submetidos a estresses múltiplos que repercutem diretamente na fisiologia das plantas e, conseqüentemente, na produtividade (SAMPAIO, 2010).

A cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) ocupa lugar de destaque no cenário nacional, sendo produzida por pequenos, médios e grandes produtores. Movimenta a economia e ocupa mais de 7,0 milhões de hectares. (CONAB, 2010). O país destaca-se como maior produtor e exportador de cana-de-açúcar, sendo seguido por Índia e China respectivamente (FAO, 2009). Cultura de grande importância no Brasil, principalmente pela produção de açúcar, álcool (hidratado e anidro) e aguardente (SOUZA et al., 1999).

A região semiárida do Nordeste potencialmente irrigável constitui-se em grande fronteira agrícola de elevada importância que se torna viável com o uso da irrigação. O setor agrícola é o maior consumidor de água no mundo, e usa cerca de 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos subsuperficiais; os outros 31% são consumidos pelas indústrias e pelo uso doméstico (SANTOS & ANJOS, 2001). No Brasil, 61% da água é consumida na agricultura irrigada, em áreas consideradas nobres para a produção. Desde a década de 90 um sistema alternativo de irrigação o *partial rootzone drying-PRD*, vem sendo utilizado buscando economia de água sem provocar grandes impactos na produção de biomassa (KRIEDMANN & GOLDWIN, 2003).

Grande parte da água localizada em regiões semiáridas possui o teor de sais elevados, causando um estresse secundário grave, conhecido como estresse oxidativo, no qual é caracterizado pelo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). O aumento na produção de ROS é responsável por diversos distúrbios metabólicos, que reflete diretamente no desenvolvimento do vegetal (PRISCO, 2014).

A prática da utilização de águas subterrâneas com elevadas concentrações de sais vem ajudando a sobrevivência no semiárido, no entanto, quando mal manejado, este processo gera graves danos aos solos, potencializando o processo de salinização dessas áreas (GUIMARÃES, 2014).

Esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação parcial e plena do sistema radicular na eficiência do uso da água e, paralelamente, compreender os mecanismos fisiológicos de aclimação ao estresse combinado (hídrico e salino).

## REVISÃO DE LITERATURA

### **Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma gramínea semi- perene do reino plantae, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem *Poales*, família *Poaceae*, gênero *Saccharum* e espécie *Saccharum officinarum* L.(SAMPAIO et al., 1995;SACIOTO, 2003).Originária do sudeste da Ásia na região da Nova Guiné e Indonésia (TERRAMOTO, 2003). Trazida oficialmente ao Brasil por Affonso de Souza, em 1532, iniciou seu cultivo na Capitania de São Vicente, onde construiu o primeiro engenho de açúcar. Foi no nordeste, entretanto que os engenhos de açúcar se multiplicaram, principalmente nas capitanias de Pernambuco e Bahia (MACHADO, 2014).

O setor sucroalcooleiro do Brasil é o mais competitivo do mundo. Possui os maiores níveis de produtividade e rendimento industrial e os menores custos de produção. A cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil é bastante estruturada, pois o Brasil é o único país do mundo que domina todos os estágios da tecnologia de produção. O agronegócio da cana-de-açúcar compõe-se de elos geradores de várias oportunidades de negócios: produção da cana-de-açúcar; processamento de açúcar, álcool e produtos derivados de subprodutos; capacitação, assistências técnica e creditícia; transporte, comercialização, exportação, serviços portuários, dentre outros. O Brasil, maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, atingiu 589 milhões de toneladas na safra 2012/2013. Na safra de 2013 a produção de açúcar chegou a 38 milhões de toneladas e de etanol 24 bilhões de litros (CONAB, 2013).

Para a safra 2013/14, a cultura da cana-de-açúcar continua em expansão. A previsão é que o Brasil tenha um acréscimo na área de cerca de 326 mil hectares, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. O acréscimo é reflexo do aumento de área da região Centro-Sul. A região Norte/Nordeste praticamente se mantém com a mesma área para a próxima safra. São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais deverão ser os estados com maior acréscimo de áreas com 132,6 mil hectares; 92,5 mil hectares; 81,4 mil hectares e 58,0 mil hectares, respectivamente. Este crescimento se deve à expansão de novas áreas de plantio principalmente das novas usinas em funcionamento que estão consolidando suas áreas (CONAB, 2013).

### **Mudanças climáticas**

No cenário mundial, o aumento das temperaturas em decorrência do aquecimento global pode provocar um grande impacto na agricultura. A atividade agrícola está exposta a insucessos devido a variações climáticas (MELO et al., 1998). Espera-se que o aumento da temperatura promova um aumento da evapotranspiração e, conseqüentemente, um aumento na deficiência hídrica, o que vai provocar um aumento de áreas com alto risco climático. No Brasil, estimativas da Embrapa (2008), apontam para uma elevação das temperaturas e do déficit hídrico, em decorrência do aquecimento global, altera profundamente a geografia da produção agrícola no Brasil. As simulações do impacto da mudança do clima na agricultura indicam expansão apenas para as culturas de mandioca e cana-de-açúcar. Ao contrário do que deve acontecer com outras culturas avaliadas pela Embrapa, a elevação da temperatura prevista para as próximas décadas pode ser, no geral, bem tolerada pela cana-de-açúcar. A planta tolera bem o calor, está no Brasil há mais de 500 anos e se adaptou bem aos diferentes solos de quase todo o país. A cana-de-açúcar pode se disseminar pelo país a ponto de dobrar a área de ocorrência (EMBRAPA, 2008).

No que se refere ao Semiárido da região Nordeste brasileira, onde ocorre frequentemente estresse múltiplo (déficit hídrico, salinidade, altas temperaturas e luminosidade) é fundamental a adoção de estratégias competitivas de manejo da produção agrícola, visando o máximo desempenho das culturas uma vez que, mesmo considerando o aquecimento global, essa região permanecerá como área de baixo risco, porém dependente da irrigação complementar, uma vez que a região deve ficar mais sujeita ao estresse hídrico (EMBRAPA, 2008). A tolerância ao estresse hídrico permite que a planta mantenha em níveis considerados normais seu metabolismo, mesmo estando com baixo potencial de água nas células. Esse mecanismo só é possível devido uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas, dentre elas: Ajuste osmótico e capacidade antioxidante (ANGELOVA et al., 2000).

### **Águas subterrâneas, salobras e salinas**

Apesar da escassez de águas superficiais na região Nordeste do Brasil, existem nessa região importantes reservas subterrâneas que podem ser racionalmente exploradas em atividades econômicas. Por outro lado, no contexto do Semiárido brasileiro, o aproveitamento dessas águas passa pela superação de duas restrições: as baixas vazões dos poços perfurados e a predominância de águas salobras (REBOUÇAS, 1999). Um dos primeiros passos a ser dado para utilização de águas salobras é no sentido de planejar a melhor forma de exploração e

manejo. Um grande desafio é tornar viável o uso dessa água para a agricultura convencional. Essas águas devem ser consideradas um meio para acelerar o desenvolvimento econômico e social local, visto que os recursos financeiros exigidos para sua exploração são reduzidos (LIMA, 1997).

#### **Molhamento parcial do sistema radicular**

O uso eficiente da água de irrigação tornou-se uma componente chave na produção de muitas culturas bem como na garantia de alta qualidade do produto das culturas em áreas áridas e semiáridas. A irrigação tem sido a grande força motriz para o desenvolvimento agrícola nessas áreas. O uso eficiente da água tornou-se uma questão extremamente importante nos últimos anos devido à escassez de recursos hídricos disponíveis em muitas áreas do planeta, constituindo-se em um sério problema (SAMPAIO, 2010).

A técnica de irrigação alternativa conhecida como molhamento parcial do sistema radicular (*Partial Root-zone Drying* - PRD) pode ser descrita como a irrigação alternada de, aproximadamente, metade do sistema radicular. O lado irrigado e o não irrigado do sistema radicular são alternados em uma frequência regular de tempo, definida em função da cultura e da fase fenológica (KANG & ZHANG, 1997).

Esta técnica, PRD, permite economia significativa de água e aumenta a eficiência do uso da água (WUE) sem, contudo, provocar impacto significativo na produção de biomassa das culturas (KANG & ZHANG, 1997; LI et al., 2010; YANG et al., 2012).

Avaliando resultados experimentais obtidos tanto no campo quanto em casa de vegetação, com diferentes culturas, os dados indicam uma economia de água entre 30% a 50%, quando comparado o PRD à irrigação convencional (DU et al., 2006; LI et al., 2010). Destaca-se que em alguns experimentos de campo em região semiárida foram registradas reduções de 40% da água aplicada na cultura da pimenta (KANG et al., 2001) e 30% em algodoeiro (TANG et al., 2005) sem prejuízo à produção dessas duas culturas.

O aumento da eficiência do uso da água, calculado como o carbono adquirido por unidade de água perdida, apresenta valores que variam entre 12,5 a 36,3% considerando diversas culturas como milho, uva, algodão e tomate irrigados com o sistema de PRD (LI et al., 2007; DU et al 2008; LI et al., 2011; YANG et al., 2012).

Vários trabalhos revelam que a aplicação do PRD pode resultar no aumento da produção de culturas como algodão (DU et al., 2006) e tomate (YANG et al., 2012), bem como manter a produção de frutos como maçã (LEIB et al., 2006). Há relatos para uma



mesma cultura, como o milho, em que foi mantida a produção ou em que se registrou uma pequena redução da biomassa (1 a 4%) (LI et al., 2010). Invariavelmente, em todos esses trabalhos houve economia de água e aumento da eficiência do uso da água.

Em trabalhos pioneiros com PRD Kang et al., (2001) propuseram que este sistema de irrigação alternada tem sua base em dois pressupostos teóricos: (1) a parte do sistema radicular sem irrigação deve responder ao estresse hídrico enviando um sinal da raiz para a parte aérea que resulta no fechamento dos estômatos e reduz a perda de água (DAVIES & ZHANG, 1991); (2) uma pequena redução da abertura estomática pode reduzir significativamente a perda de água sem contudo apresentar grande impacto sobre a fotossíntese (JONES, 1992). Evidentemente, a irrigação de cada um dos lados do sistema radicular é alternada em uma frequência adequada às necessidades de água das culturas, fases fenológica e equilíbrio de água do solo (KANG et al., 2001).

### **Estresse oxidativo**

Diversos tipos de estresse abiótico, como o déficit hídrico ou a salinidade, geram um estresse secundário, o estresse oxidativo, o qual é resultante do desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e a prevenção do seu acúmulo. A limitação da fixação de CO<sub>2</sub> resultante do estresse hídrico, salino, excesso de temperatura e luminosidade em função do fechamento estomático promove um incremento na produção de ROS decorrente da reação de Mehler e dos pigmentos antena dos cloroplastos (HARIR & MITLLER, 2009). O acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), como o radical superóxido ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), radical hidroperóxido (HO<sub>2</sub>), e oxigênio singleto ( $^1\text{O}_2$ ) induzido pelo estresse, é citotóxico. Os distúrbios metabólicos são consequência de danos a macromoléculas resultantes da oxidação de ácidos nucleicos, desnaturação de proteínas e peroxidação de lipídios. Os distúrbios provocados pelo estresse refletem-se diretamente na redução do crescimento e produtividade das culturas (PARIDA & DAS, 2005).

Para evitar os efeitos prejudiciais do acúmulo das ROS, as plantas possuem um complexo mecanismo de defesa antioxidativo constituído por enzimas e metabólitos antioxidantes (DEWIR et al., 2006). A capacidade de acionar o mecanismo de defesa antioxidativa pode prevenir o acúmulo de ROS e o estresse oxidativo extremo (DEWIR et al., 2006). As enzimas do sistema antioxidante são bastante sensíveis às condições de estresse abiótico servindo inclusive como sinalizadoras do estresse. Destacam-se entre elas:

superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (NOCTOR & FOYER, 1998; BARTOSZ, 1997; DE GARA, 2004). A SOD cataliza a dismutação do  $\cdot\text{O}_2^-$  que leva à formação de outra ROS, o  $\text{H}_2\text{O}_2$ . O peróxido de hidrogênio é oxidante e não pode ser acumulado na célula, no entanto quando comparado com outras ROS o  $\text{H}_2\text{O}_2$  não é considerado um forte oxidante principalmente devido sua estabilidade (GRATÃO et al., 2005). A CAT, é uma enzima tetramérica de Fe porfirina e por sua vez, atua convertendo o  $\text{H}_2\text{O}_2$  à água e oxigênio molecular. No entanto essa enzima possui pouca afinidade pelo  $\text{H}_2\text{O}_2$  necessitando de duas moléculas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  para que a reação ocorra. As peroxidases requerem um redutor para converter o  $\text{H}_2\text{O}_2$  à água. A APX, por exemplo, é uma heme peroxidase encontrada principalmente nos cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos e citosol, atua oxidando duas moléculas de ascorbato na redução do  $\text{H}_2\text{O}_2$ . O ascorbato oxidado é regenerado pelo ciclo metabólico do ascorbato-glutationa (BARTOSZ, 1997; NOCTOR & FOYER, 1998; ASADA, 1999; IGAMBERDIEV & LEA, 2002).

Atualmente as ROS não são mais consideradas apenas meros agentes causadores de danos às plantas. Elas são definitivamente reconhecidas como importantes moléculas sinalizadoras vitais para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Enquanto as ROS têm o potencial de causar dano oxidativo às células das plantas durante estresses ambientais, estudos recentes têm mostrado que as ROS desempenham um papel fundamental como moléculas de transdução de sinal envolvidas na mediação de respostas a estresses ambientais, morte celular programada e diferentes estímulos ao desenvolvimento (MITTLER et al., 2004; TORRES & DANGL, 2005). O rápido aumento da produção de ROS, conhecida como *burst* oxidativo, é considerado essencial para muitos destes processos (MILLER et al., 2010). Além da geração de sinais de ROS pela planta por oxidases de NADPH, por exemplo, as ROS geradas devido a desequilíbrios metabólicos durante o estresse também podem servir como um sinal de estresse para ativar mecanismos de defesa e de aclimação que, por sua vez, combatem o estresse oxidativo (MITTLER et al., 2004; MILLER et al., 2010). As duas 'faces' das ROS, isto é, por um lado, tóxicas e nocivas e, por outro lado, transdutoras de sinais benéficos, destacam a necessidade de controlar o nível de *steady-state* das ROS nas células durante o metabolismo normal, bem como em resposta a diferentes estresses. Elucidar os mecanismos que controlam a sinalização das ROS nas células durante o estresse hídrico e salino, por conseguinte, pode fornecer uma poderosa estratégia para aumentar a tolerância das culturas a essas condições de estresse ambiental.

## Referências Bibliográficas

ANGELOVA, M.B.; PASHOVA, S.B.; SLOKOSKA, L.S. Comparison of antioxidant enzyme biosynthesis by free and immobilized *Aspergillus nidulans* cells. **Enzyme and microbial technology**, v.26, p.544-549, 2000.

ASADA, K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of reactive oxygens and dissipation of excess photons, annual review of plant physiology and plant molecular biology, Palo Alto, v.50, p.601-639, 1999.

BARTOSZ, G. Oxidative stress in plants. **Acta Physiologiae Plantarum**. v.19, p.47-64, 1997.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira cana-de-açúcar**. Brasília, 2013. 20 p.

CONAB-. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento, setembro/2010, 16p.

DAVIES, W.J., ZHANG, L. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Plant Physiology**. v. 42, p.55-76, 1991.

De GARA, L. Class III peroxidases and ascorbate metabolism in plants. **Phytochemistry Reviews**, v.3, p.195-205, 2004.

DEWIR, Y.H.; CHAKRABARTY, D.; ALI, M.B.; PAEK, K.Y. Lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Euphorbia millii* hyperhydric shoots. **Environmental and Experimental Botany**, v.58, p.93-99, 2006.

DU, T., KANG, S., ZHANG, J., LI, F., YAN, B. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. **Agric. Water Manage.** V.95, p.659-668, 2008.

DU, T., KANG, S., ZHANG, J., LI, F., HU, X. Yield and physiological responses of cotton to partial root-zone irrigation in the oasis field of northwest China. **Agric. Water Manage.** V.84, p.41-52, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura**. São Paulo 2008. 84 p.

FAO. **Food production and security**. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm#brazil>>. Acesso em: 06 de ago.2014.

GUIMARÃES,M.J.M. **Cultivo sustentável do sorgo forrageiro irrigado com água de qualidade inferior em condições semiáridas.**[Sustainable cultivation of irrigated sorghum with lower quality water in semi-arid conditions].2014.69 f.Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2014.

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

HARIR, Y. AND MITTLER,R. The Ros Signaling Network of Cells. Del Rio, L.A. and Puppo. **Sringer-Verlag**, p.245, 2009.

IGAMBERDIEV,A.U;LEA,P.J.Therolo of peroxissomes in the integration of metabolism and evolutionary diversity of fotosynthetics organism, phytochemistry, v.60, p.651-674, 2002.

JONES, H.G.Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology, 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

KANG, S., HU, X., PAN, Y., SHI, P. Soil water distribution, uniformity and water- use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. **Irrig. Sci**.v.19, p.181–190, 2001.

KANG, S., ZHANG, J. Hydraulic conductivities in soil–root system and relative importance at different soil water potential and temperature. Trans. CSAE 2, 76–81 (in Chinese with English abstract), 1997.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. **Land & Water Australia**, 2003.

LEIB, B. G.; CASPARI, H. W.; REDULLA, C. A.; ANDREWS, P. K.; JABRO, J. J.; Partial rootzone drying and deficit irrigation of ‘Fuji’ apples in a semi-arid climate. **Irrig. Sci**, v. 24, p. 85-99, 2006.

LIMA,G.P.P.;ROSSI,C.;HAVOORT,D.M.R.Atividade de peroxidases (ec 1.11.1.7) e teor de prolina no embrião e cotiledones de feijão phaseolus vulgaris L. cultivado em condições de salinidade.**Scientia Agrícola**,v.54,n.3,1997.

LI, C.; SUNA, J.; LI, F.; ZHOUA, X.; QIANGA, X.; GUOA, D. Response of root morphology and distribution in maize to alternate furrow irrigation. **Agricultural Water Management** v.98, p.1789-1798, 2011.

LI, F.; YU,J.; NONG, M.; KANG, S.; ZHANG, J. Partial root-zone irrigation enhanced soil enzyme activities and water use of maize under different ratios of inorganic to organic nitrogen fertilizers. **Agricultural Water Management**, v.97, p.231–239, 2010.

LI, F., LIANG, J., KANG, S., ZHANG, J. Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. **Plant Soil**, V.295, p.279–291. 2007.

MACHADO, F.B.P. **Brasil a doce Terra**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993#nc>> Acesso em: 01 de fev.2014.

MELO, F.A.D et al. Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em diferentes fundos agrícolas da região norte do estado de Pernambuco. In: Congresso Nacional da Stab, 7., 1998, Londrina. Anais. Piracicaba: STAB, 1998. p.198-202.

MILLER, G; SUZUKI, H.; CIFTCI-YILMAZ, S; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v.33, p.453–467, 2010.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environmental and stress combination. **Trends in Plant Science**, v.11, p.15-19, 2004.

NOCTOR, G.; FOYER, C.H. Ascorbate And Glutathione: Keeping active oxygen under control. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v.49, p.249-279, 1998.

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

PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. **Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas**. Manejo da salinidade na agricultura irrigada: Estudos básicos e aplicados, Ceará, 2010. Disponível em: <[http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/cap\\_10\\_Fisiologia%20e%20bioqu u%00C3%83%20ADmica%20do%20estresse.pdf](http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/cap_10_Fisiologia%20e%20bioqu%u00c3%83%20ADmica%20do%20estresse.pdf)> Acesso em: 02 de fev.2014.

REBOUÇAS, A.C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 4, p.117-151.

SACIOTO, R.F.Z. **Inserção do gene PR5K em cana-de-açúcar visando induzir resistência ao fungo da ferrugem puccinia melanocephala**. 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em fisiologia e bioquímica de plantas)- Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, -Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SAMPAIO, A.H.R. **Irrigação com déficit hídrico e eficiência do uso da água em lima ácida “TAHITI” no semi-árido Baiano**. [With irrigation and water use efficiency water in

lima sour “Tahiti” Bahia in semi-arid].2010.97f.Dissertação (Mestrado em ciências agrárias)-Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V,19 p.269-279, 1995.

Souza, E. F.; Bernado, S.; Carvalho, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, v.19, p.28-12, 1999.

TANG, L.; LI, Y.; ZHANG, J. Physiological and yield responses of cotton under partial root zone irrigation. **Field Crops Res**, V,94, p. 214–223, 2005.

TERRAMOTO,E.R.**Avaliação e aplicação de modelos de estimativas de produção de cana-de-açúcar (saccharum spp.) baseados em parâmetros do solo e clima.**2003.86 p.Tese (Doutorado em agronomia)-Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz,Piracicaba,2003.

TORRES M, A.; DANGL J.L. Functions of the respiratory burst oxidase in biotic interactions, abiotic stress and development. **Plant Biology**, v.8, p.397–403, 2005.

YANG, L.; QUA, H.; LI, F. Effects of partial root-zone irrigation on physiology, fruit yield and water use efficiency of tomato under different calcium levels. **Agricultural Water Management**, v.104, p.89–94, 2012.

**Parâmetros fisiológicos e de crescimento da cana-de-açúcar sob irrigação parcial e plena, submetida a diferentes níveis de salinidade**

## **Parâmetros fisiológicos e de crescimento da cana-de-açúcar sob irrigação parcial e plena, submetida a diferentes níveis de salinidade**

**Resumo** - Água de qualidade e em quantidade suficiente é um bem cada vez mais escasso. O semiárido Brasileiro apresenta limitações ambientais em seu território como altas temperaturas, salinização do solo, da água, baixa pluviosidade associada a uma grande demanda evaporativa. Métodos e técnicas de manejo do uso e eficiência da água na agricultura é de grande importância para manutenção de alta produtividade e proteção dos recursos naturais. Nesse contexto o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da irrigação plena e parcial do sistema radicular na eficiência do uso da água, e paralelamente compreender os mecanismos bioquímicos de aclimação ao estresse combinado (hídrico e salino) em cana-de-açúcar. Mudanças de cana-de-açúcar procedentes do cultivo *in vitro* foram aclimatizadas durante 15 dias e em seguida submetidas a três níveis de irrigação: plantas mantidas com 100% da capacidade de pote sob molhamento fixo (T1-100CP-MF); plantas mantidas com 50% da capacidade de pote sob molhamento fixo (T2-50%-MF); e plantas submetidas a 50% da capacidade de pote com molhamento alternado entre os dois lados do pote (T3-50%-MA). A alternância do lado irrigado foi de quatro dias. Foi utilizado quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação: 0,3 ds m<sup>-1</sup> (B1), 3,3 ds m<sup>-1</sup> (B2), 6,3, ds m<sup>-1</sup> (B3) 9,3 ds m<sup>-1</sup> (B4). A produção de biomassa da cana-de-açúcar teve redução superior a 45% no estresse moderado, quando comparado à irrigação plena. Sob condição de estresse salino as principais variáveis fisiológicas afetadas negativamente foram o teor relativo de água e potencial hídrico. No entanto plantas sob irrigação alternada demonstraram maior capacidade de ativação de mecanismos de defesa para manutenção do potencial hídrico foliar adequado em condições de salinidade elevada.

**Palavras chave**- Estresse combinado, *Saccharum officinarum* L., PRD.



## **Physiological parameters and growth of sugar cane under partial and full irrigation, subjected to different salinity levels**

**Abstract-** Quality and sufficient quantity of water are increasingly scarce goods. The Brazilian semiarid environment presents limitations in its territory such as extreme temperatures, soil and water salinization, irregular rainfalls associated with a large evaporative demand. Methods and techniques of management of water use and efficiency in agriculture are of great importance to maintain high productivity and protection of natural resources. In this context the objective of this study was to evaluate the effects of full and partial irrigation of the root system on water use and efficiency, and, in parallel, to comprise biochemical mechanisms of acclimation to combined stress (water and salt) in sugar cane. Sugar cane seedlings derived from *in vitro* cultivation were acclimatized during 15 days and then subjected the three levels of irrigation: plants maintained at 100% of pot capacity under fixed wetting condition (T1-100CP-MF); plants maintained at 50% of pot capacity under fixed wetting condition (T2-50%-MF); and plants subjected to 50% of pot capacity under alternated wetting condition between the two sides of the pot (T3-50%-MA). Alternation of irrigated side was for days. It was used four levels of electrical conductivity of the irrigation water: 0.3 dS m<sup>-1</sup> (B1), 3.3 dS m<sup>-1</sup> (B2), 6.3 dS m<sup>-1</sup> (B3) and 9.3 dS m<sup>-1</sup> (B4). Biomass production of sugar cane presented a reduction of more than 45% in moderate stress, when compared to full irrigation. Under salt stress conditions, the main physiological variables affected negatively were water relative content and water potential. Nonetheless, plants under alternated irrigation condition presented higher capacity to activate defense mechanisms in order to maintain proper leaf water potential under conditions of high salinity.

**Keywords-** Stress combined, *Saccharum officinarum* L., PRD.

## Introdução

No Brasil, estimativas da Embrapa (2008), demonstram que o aumento das temperaturas e do déficit hídrico, em decorrência do aquecimento global, pode alterar profundamente a geografia da produção agrícola no Brasil (EMBRAPA, 2008). As simulações do impacto da mudança do clima nas nove culturas mais representativas no Brasil em termos de área plantada apontam expansão apenas para as culturas da mandioca e cana-de-açúcar. Ao contrário do que deve acontecer com as outras culturas avaliadas pela Embrapa, a elevação da temperatura prevista para as próximas décadas pode ser, no geral, bem tolerada pela cana-de-açúcar. A planta tolera bem o calor, está no Brasil há 500 anos e se adaptou bem aos diferentes solos de quase todo o país. A cana-de-açúcar pode se espalhar pelo país a ponto de dobrar a área de ocorrência (EMBRAPA, 2008).

Na região semiárida brasileira os cultivos são submetidos constantemente a estresses múltiplos que repercutem diretamente na fisiologia das plantas e conseqüentemente em sua produtividade.

Como estratégia de convivência com o semiárido, destacam-se atualmente os sistemas produtivos que promovem o uso múltiplo das águas. A região semiárida do Nordeste potencialmente irrigável com água de superfície constitui-se numa fronteira agrícola de elevada importância que se torna viável com o uso da irrigação, embora a área irrigável não ultrapasse 3% de toda região semiárida. Apesar da escassez de águas superficiais têm-se nessa região importantes reservas subterrâneas disponíveis de águas salobras que exigem o desenvolvimento de manejo e tecnologia adequados para viabilizar sua utilização. No Brasil, 61% da água superficial é consumida na agricultura irrigada, consideradas as áreas nobres para a produção (FAO, 2007). A cana-de-açúcar é uma planta glicófita e tem sua produção afetada pelo uso inadequado de água salina na irrigação (MUNIR e AFTAB, 2009). O principal objetivo da irrigação é suprir as necessidades hídricas da cultura, incrementar a produtividade, melhorar a qualidade e ampliar o número de colheitas das culturas (DALRI e CRUZ, 2008). O desenvolvimento de variedades resistentes ao estresse hídrico apresenta elevado grau de importância no panorama mundial de aumento de temperaturas e prolongamento da escassez de água (BRUCE et al., 2002).

O secamento parcial do sistema radicular (partial rootzone drying-PRD), consiste na irrigação da metade do sistema radicular em intervalos pré determinados que depende da cultura, do tipo de solo e do estágio fenológico (KRIEDMANN, 2003). Esta técnica permite

economia significativa de água e aumenta a eficiência do uso da água (WUE) sem, contudo, provocar impacto significativo na produção de biomassa das culturas (KANG e ZHANG, 2004; LI et al.,2010;YANG et al.,2012).

No sistema de produção da cana-de-açúcar, o cultivo de variedades com boas características agroindustriais é a forma mais consistente de se obter produtividade e qualidade com baixo custo. No passado, a introdução da lavoura canavieira era exclusivamente através de importações de materiais, atualmente programas de melhoramento genético como o da rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro (Ridesa) vem lançando novas variedades RB adaptadas a diferentes condições ambientais (MATSUOKA, 2000).

A salinidade altera a absorção de água, nutrientes e a permeabilidade de membranas. O aumento da salinidade nas fases iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar pode reduzir sua evapotranspiração em até 20% (SANTANA et al., 2007). Tais alterações promovem prejuízo nutricional, provocando mudanças no metabolismo, no balanço hormonal e na produção de enzimas do complexo antioxidativo (PRISCO et al., 2010). Diversos tipos de estresse abiótico, como o déficit hídrico ou a salinidade, geram um estresse secundário, o estresse oxidativo, o qual é resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). O acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), como o radical superóxido ( $\cdot O_2^-$ ), o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) induzidos pelo estresse, é citotóxico. As plantas protegem suas células dos efeitos tóxicos das ROS por meio da atividade de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) entre outras (FOYER e SHIGEOKA, 2011).

Nesse contexto esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação plena e parcial do sistema radicular na eficiência do uso da água, e paralelamente compreender os mecanismos fisiológicos de aclimação ao estresse combinado (hídrico e salino) da cana-de-açúcar variedade RB931011 lançada pela Ridesa no início de 2010.

## **Material e Métodos**

O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE-SEDE no município de Recife (Latitude 08°03'14"S, Longitude 34°52'52" W, Altitude 4m), em casa de vegetação. O clima da região é classificado como tropical, do tipo AMs' segundo a classificação climática de Köppen (KOPPEN & GEIGER, 1928).

As mudas da variedade RB 931011 foram cultivadas em vasos (25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidade), (Figura 2). O interior de cada vaso foi dividido em dois compartimentos, separados e selados uniformemente com folhas de madeira recoberto com plástico, impedindo a troca de água entre os compartimentos, segundo metodologia descrita por Li et al. (2010). O solo utilizado foi proveniente da Estação Experimental de Itapirema do Instituto agrônômico de Pernambuco- IPA, localizado no município de Goiana. O solo foi retirado da profundidade 0-30 cm, volume 0,015 m<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA). Nos vasos foi aplicada a adubação de fundação com NPK dois dias antes do plantio com base na análise de solo. Vinte dias após plantio foi realizada a adubação de cobertura com N e K. A adubação foi feita conforme necessidades da cultura baseada no Manual de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

O experimento foi conduzido de fevereiro a abril de 2014. As mudas de cana-de-açúcar, procedentes de cultivo *in vitro*, foram aclimatizadas durante 15 dias e em seguida submetidas a três lâminas de irrigação: plantas mantidas com 100% da capacidade de pote (T1-100CP-MF); plantas mantidas com 50% da capacidade de pote, (T2-50CP-MF); e plantas submetidas a 50% da capacidade de pote com molhamento alternado entre os dois lados do vaso (T3-50CP-MA), (LI et al., 2011). A alternância de molhamento do sistema radicular das plantas sob PRD (T3-50CP-MA) foi de quatro dias. A água utilizada foi preparada em função da água de poço do município de Ibimirim-PE na comunidade de Poço do Boi, ajustada para quatro níveis de condutividade elétrica: 0,3 dS m<sup>-1</sup> (B1), 3,3 dS m<sup>-1</sup> (B2), 6,3, dS m<sup>-1</sup> (B3) 9,3 dS m<sup>-1</sup> (B4). Composição química e pH, da água de irrigação, Tabela 1 e 2 respectivamente.

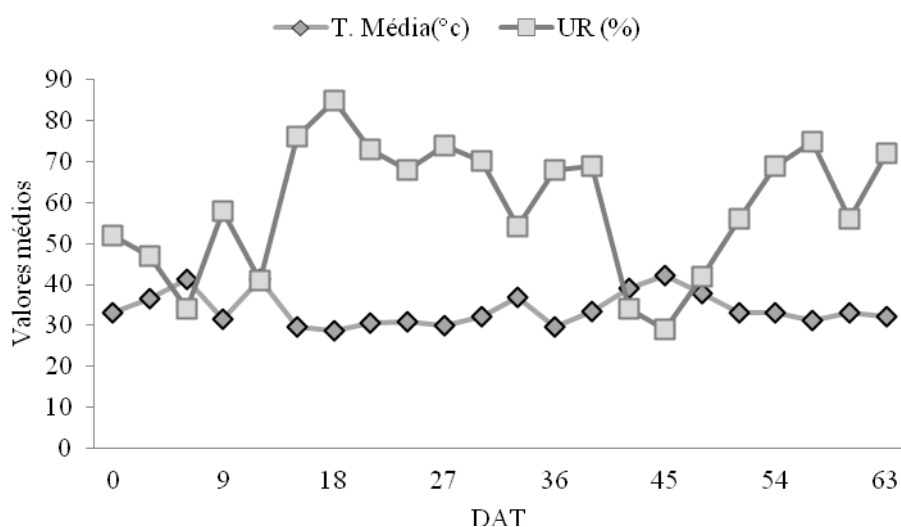
**Tabela 1.** Composição química da água utilizada na irrigação com maior concentração.

pH	mg/L							
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
7,2	502,32	399,15	18	984,66	1948,18	294,32	2011,02	744,65

**Tabela 2.** pH da solução do solo em função dos tratamentos hídricos e condutividade elétrica da água de irrigação.

Tratamentos	CE água de irrigação (dS <sup>-1</sup> )			
	0,3	3,3	6,3	9,3
T1-100 CP-MF	6,4	6,99	6,69	7,23
T2-50 CP-MF	6,59	6,32	7,14	7,2
T3-50 CP-MF	6,51	6,69	6,43	7,15

As informações meteorológicas registradas durante o período experimental são apresentadas na Figura 1. A umidade relativa do ar média aos 18 dias após tratamento (DAT), foi próxima a 90%, e mínima cerca de 29% aos 45 DAT. Pode ser observado que a temperatura variou entre 30 a 35°C, somente ultrapassando os 40°C em duas ocasiões, aos 7 e 45 DAT (Figura 1).



**Figura 1.** Dados de temperatura e umidade relativa do ar no período de fevereiro a abril de 2014, em Recife.

O regime de água aplicada durante o período experimental foi controlado baseado na umidade gravimétrica, segundo EMBRAPA, (1997), conforme a Equação 1. O turno de rega foi de quatro dias.

Umidade gravimétrica %=

$$\left( \frac{a - b}{b} \right) * 100$$

Onde:

a= massa de solo úmido (g)

b= massa de solo seco (g)

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 12 tratamentos e seis repetições em esquema fatorial 3x4 (três lâminas de irrigação e quatro níveis de condutividade elétrica da água de irrigação), totalizando 72 plantas.



**Figura 2.** Disposição das plantas nos vasos aos 45 DAT.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: número de folhas, comprimento e largura da folha +1; área foliar, altura da planta, diâmetro do colmo e massa fresca no momento da colheita. Posteriormente o material vegetal foi colocado em estufa para secar a 60°C por 72 horas para determinação da massa seca.

A altura foi medida com o auxílio de uma trena desde o nível do solo até a folha +1 (primeira folha totalmente expandida e com lígula aparente), segundo numeração proposta por Kuijper (1952) (figura 3). O diâmetro do caule foi determinado pela média de duas medidas em posições diferentes do caule a uma altura de 5 cm do nível do solo, com auxílio de um paquímetro.

A área foliar foi estimada através das medidas de comprimento (c) e maior largura (l) da folha + 1. As folhas tiveram suas dimensões aplicadas na fórmula abaixo, proposta por Hermann e Câmara (1999), e o somatório compôs a área foliar total da planta (AFC).

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

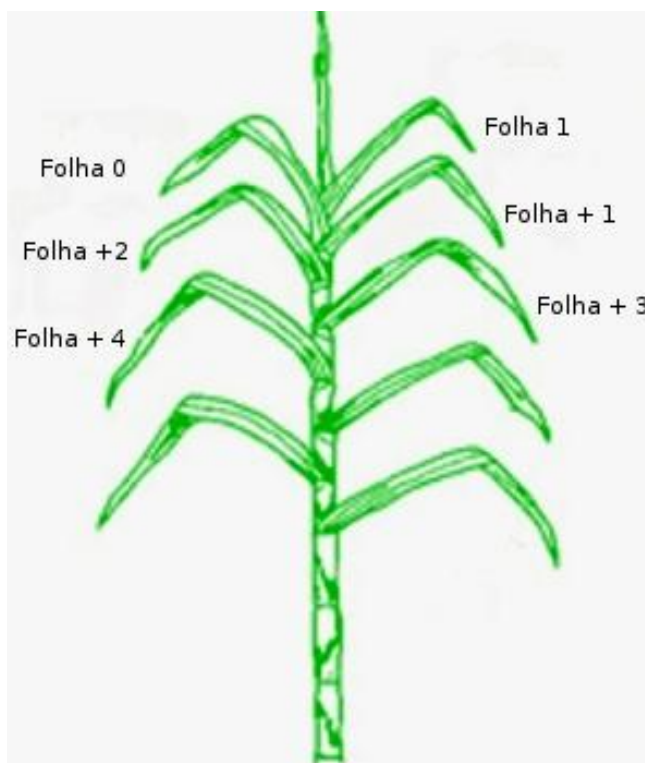
Onde:

C= comprimento (cm)

L= maior largura (cm)

N= número de folhas verdes abertas

0,75= fator de correção



**Figura 3.** Esquema de numeração de folhas pelo sistema proposto por Kuijper.

**Fonte.** Dillewijn (1952).

A condutividade elétrica do solo foi determinada conforme metodologia descrita por Embrapa (1997).

Na colheita foi realizado as medidas de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ). Antes do nascer do sol determinaram-se os potenciais hídricos, utilizando para as medições a câmara de pressão tipo Scholander (PMS Instrument Co, model 1000). Após as retiradas das folhas das

plantas, previamente marcadas, foram colocadas na câmara de pressão, medindo a pressão aplicada até ocorrer à exsudação de seiva pela secção transversal do pecíolo da folha (TURNER, 1981).

Para determinação do teor relativo de água (TRA) pesaram-se seis discos foliares de 5,0 mm de diâmetro sem nervura central, para determinação da massa fresca. Posteriormente esses discos foram acondicionados em placas de Petri com água destilada, para obtenção da massa túrgida. Em seguida esse material foi levado a estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas, para determinação da massa seca.

O TRA foi obtido a partir da fórmula:  $TRA\% = \frac{(MF - MS)}{(MT - MS)}$  (BARRS & WEATHERLEY, 1962).

Onde:

MF= Massa fresca

MT= Massa túrgida

MS= Massa seca

A atividade da Ascorbato peroxidase (APX) seguiu-se conforme metodologia descrita por Nakano & Asada (1981). O meio de reação foi composto por 1335 µL de tampão, 75 µL do extrato das amostras, 75 µL de ascorbato e 15 µL de peróxido. A atividade da APX foi determinada pelo monitoramento da taxa de oxidação do ascorbato, em espectrofotômetro a 290 nm, a 30 °C, durante 60 segundos.

A atividade da catalase (CAT) foi determinada pelo método descrito por Havir & Mchale (1987) com modificações conforme Azevedo et al. (1998). Em solução contendo 1 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 25 µL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 1 mM. A reação foi iniciada pela adição de 25 µL do extrato proteico e a atividade determinada seguindo-se a decomposição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por 60 segundos, em espectrofotômetro a 240 nm, sob temperatura de 25 °C.

A superóxido dismutase (SOD) teve sua atividade mensurada a partir da inibição da redução do NBT (nitroblue tetrazolium) pelo extrato enzimático, evitando assim a formação do cromóforo. A solução de reação (3 mL) foi constituída de 85 mM de tampão fosfato (pH 7,8), 75 µM de NBT, 5 µM riboflavina, 13 mM de metionina, 0,1 mM EDTA e 50 µL de extrato enzimático. A solução foi adicionada em tubos de vidro e irradiada com luz branca (lâmpada fluorescente de 15 W) por 5 min. Após esse período de exposição, a solução foi analisada por espectrofotômetro a 560 nm (GIANNOPOLITIS & RIES, 1977).



Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa Sisvar 5.0. Quando houve interação significativa entre lâminas de irrigação e níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, foi realizado o desdobramento das variáveis dentro de cada fator, caso contrário, considerou-se o efeito independente dos fatores para as variáveis estudadas.

Para comparação entre os níveis de condutividade elétrica foram avaliados modelos de regressão de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 5% de probabilidade. O Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi adotado para a comparação entre as lâminas de irrigação e os casos de regressões não significativas ( $p > 0,05$ ).

## Resultados e discussão

Houve interação significativa entre lâminas x condutividade elétrica da água de irrigação apenas para as variáveis altura e área foliar total. As variáveis altura, nº de folhas, comprimento, largura e área foliar total apresentaram significância para lâmina de irrigação. Altura e diâmetro apresentaram significância para Ce da água de irrigação (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise de variância (ANOVA) entre lâminas de irrigação, condutividade elétrica da água e interação entre lâminas de irrigação x condutividade elétrica da água para as variáveis biométricas. ALT – Altura da planta; Ø – diâmetro do colmo; – número de folhas; Comp. – comprimento da folha; Larg. – largura da folha; AFT – área foliar total.

FV	Quadrado Médio					
	ALT	Ø	NF	FOLHA +1 (cm)		AFT
	(cm)	(mm)	(unid)	COMP.	LARG.	(cm <sup>2</sup> )
Lâmina	2571,1831**	0,2702 ns	3,4305 **	789,4376*	2,1418**	5345383,5760**
Ce água de irrig	328,3603**	0,3556**	0,3333 ns	182,8997 ns	0,1312 ns	368828,0453 ns
Lâmina x Ce da água	160,9553*	0,1228ns	0,4305 ns	213,9989 ns	0,4673 ns	549884,6540**
Resíduo	63,4137	0,0858	0,4222	206,5399	0,2274	154888,24
CV	14,15	20,97	10,73	11,69	17,07	19,51

CV.= Coeficiente de variação; \*\*=  $p < 0,01$ ; \*=  $p < 0,05$  e ns= não significativo.

As plantas mantidas sob tratamento (100-CP-MF) foram as mais altas com média de 68,2 cm (Tabela 4). A redução da altura das plantas sob estresse já foi registrada por diversos

autores entre os quais Silva (2010) que ao avaliar a altura de diferentes genótipos de cana-de-açúcar submetida a estresse hídrico moderado observou reduções médias em torno de 27 %. No que se refere ao diâmetro, que variou entre 1,32 e 1,51cm e numero de perfilhos 2,91 a 3,25 não houve diferença significativa entre os tratamentos hídricos. Seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico severo 0 a 20% da disponibilidade hídrica apresentaram diferenças nas variáveis diâmetro e numero de perfilhos (SILVA, 2010). Vale destacar que no presente trabalho aplicou estresse moderado (0-50%) da água disponível.

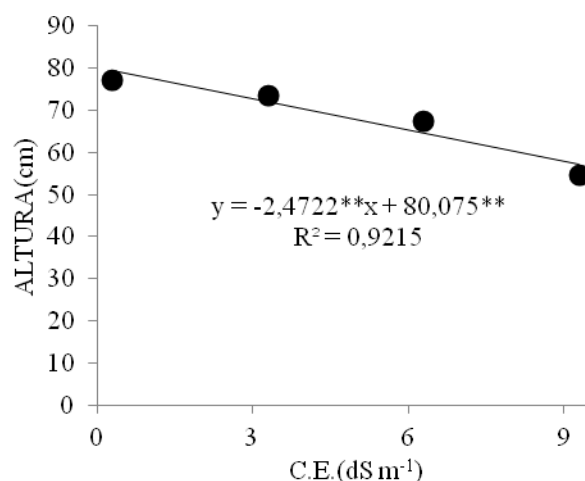
O número de folhas foi influenciado pelas lâminas de irrigação (Tabela 4). Plantas submetidas ao tratamento (100-CP-MF) emitiram em média 6,45 folhas, resultado que corrobora os encontrados por Pincelli (2010), ao trabalhar com deficiência hídrica em cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Essa variável biométrica é de suma importância para a manutenção da eficiência fotossintética e seu decréscimo pode acarretar sérios prejuízos ao vegetal. Comprimento, largura e área foliar total seguiram o mesmo padrão com o tratamento (100-CP-MF) diferindo dos demais tratamentos. Essa afirmação não está de acordo com Pincelli (2010), que nessas mesmas condições de estresse hídrico afirma que o comprimento e largura das folhas não constituem parâmetros confiáveis para avaliar e caracterizar respostas diferenciais de cultivares de cana-de-açúcar à deficiência hídrica. Essa discordância de resultados pode estar associada ao tipo de folha utilizado no estudo, pois Pincelli utilizou em seu trabalho a folha +3, enquanto no presente trabalho foi utilizada a folha +1. Essa mudança na posição de inserção da folha pode gerar diferenças significativas entre as mesmas. Características relacionadas ao estreitamento e diminuição do comprimento foliar é uma mudança muito importante a longo prazo que atua diretamente na adequação da planta a um ambiente de pouca disponibilidade hídrica (TAIZ & ZEIGER, 2009).

**Tabela 4.** Comparação entre lâminas de irrigação em relação às variáveis de crescimento: altura (ALT), número de folhas (NF), comprimento (COMP), largura da folha +1 (LARG), e área foliar total (AFT) de plantas de cana-de-açúcar cultivada sob duas lâminas de irrigação e PRD.

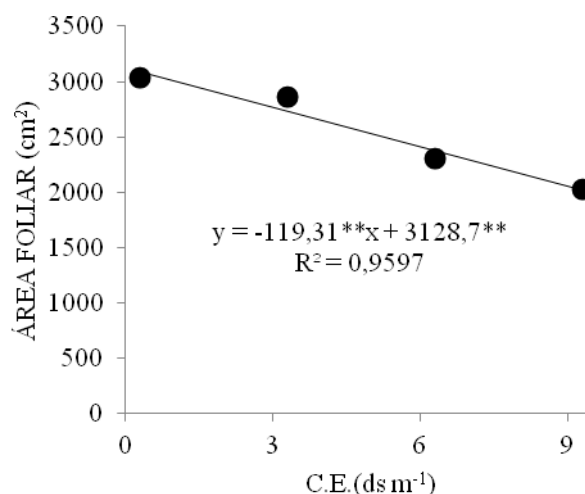
Lâmina	ALT (cm)	NF	Folha +1 (cm)		AFT (cm <sup>2</sup> )
			Comp.	Larg.	
100-CP-MF	68,20 a	6,45 a	129,31 a	3,12 a	2555,95 a
50-CP-MF	49,67 b	5,70 b	118,29 b	2,54 b	1678,40 b
50-CP-MA	50,96 b	6,00 b	121,06 ab	2,70 b	1816,18 b

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

A condutividade elétrica da água de irrigação influenciou de forma negativa a altura, e a área foliar total apenas nas plantas submetidas à 100-CP-MF. Tal comportamento foi representado por equações de primeiro grau (Figura 4 e 5).



**Figura 4.** Altura de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.



**Figura 5.** Área foliar de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.

A Tabela 5 apresenta o resumo da análise de variância de massa fresca/massa seca, teor relativo de água/potencial hídrico foliar e condutividade elétrica do solo. Houve interação altamente significativa entre lâminas x condutividade elétrica da água de irrigação para as variáveis massa fresca, seca, potencial hídrico foliar e condutividade elétrica do solo. O teor relativo de água foi significante apenas para a condutividade elétrica da água de irrigação.

**Tabela 5.** Análise de variância (ANOVA) entre lâminas de irrigação, condutividade elétrica da água e interação entre lâminas de irrigação x condutividade elétrica da água para as variáveis: Massa fresca (MF); Massa seca (MS); Teor relativo de água (TRA); Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e Condutividade elétrica do solo (CEe).

FV	Quadrado médio				
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	TRA (%)	$\Psi_w$ (kPa)	CEe do solo ( $dS\ m^{-1}$ )
Lâmina	57831,9145**	6937,9376**	4,8449 ns	128257,1731**	0,6017*
Ce água de irrig	9042,2262**	519,1455*	285,1762 *	78380,1475**	25,7357**
Lâmina x Ce da água	3881,8361**	367,5059*	128,6325 ns	67347,3467**	0,8204**
Resíduo	1039,1102	135,268	68,5632	6956,9201	0,1798
CV	24,8	30,8	10,06	7,22	14,98

CV.=Coeficiente de variação; \*\*=  $p < 0,01$ ; \*=  $p < 0,05$  e ns= não significativo.

As plantas cultivadas com 100% CP, apresentaram maior produção de biomassa fresca, (186,45g) (Tabela 6), com uma redução média em torno de 43% de massa fresca total nos tratamentos submetidos a deficiência hídrica. A massa seca seguiu o mesmo padrão da massa fresca e observou-se maior produção nas plantas do tratamento 100-CP-MF. Nos demais tratamentos as plantas apresentaram uma redução média superior a 45%. A produção de biomassa é o parâmetro mais importante para o produtor, sendo observados decréscimos acentuados na cultura quando submetidas a estresse hídrico, salino ou estresse múltiplos. Em diversos trabalhos similares foram observados reduções na produção (PINCELLI, 2010; SILVA, 2010; GONÇALVES, 2008).

**Tabela 6.** Comparação entre lâminas de irrigação em relação às variáveis: Massa fresca (MF); Massa seca (MS); Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ); Condutividade elétrica do solo (CEe).

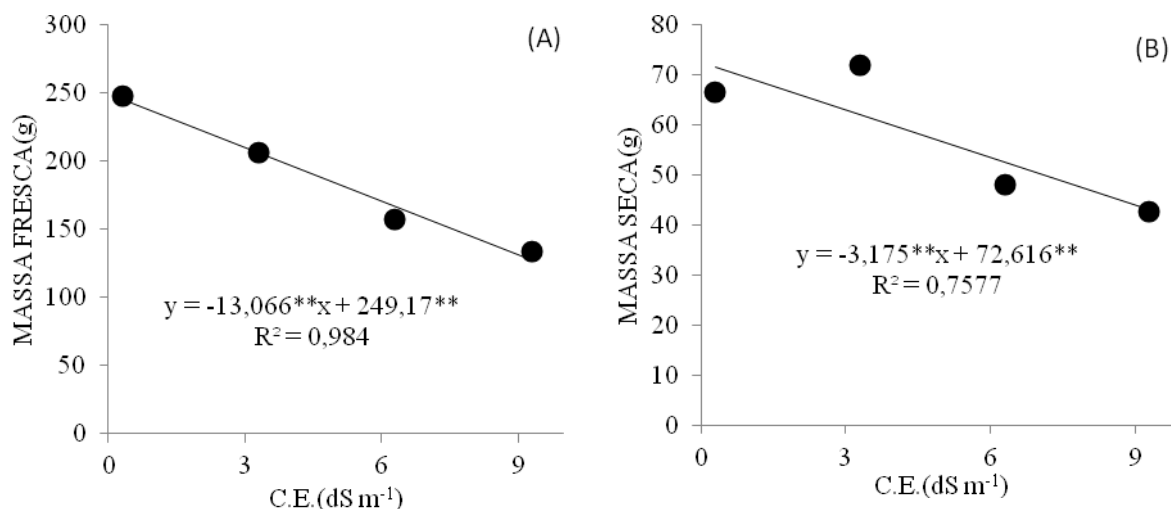
Lâmina	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	$\Psi_w$ (Kpa)	CEe do solo (ds m <sup>-1</sup> )
100%	186,45 a	57,37 a	-1066,73 c	3,0111 a
50%	97,34 b	27,13 b	-1245,79 a	2,8569 ab
50% PRD	106,45 b	28,79 b	-1155,43 b	2,6258 b

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de TUKEY à 5% de probabilidade.

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi maior nas plantas cultivadas com 100-CP-MF. Por outro lado o teor relativo de água (TRA) não diferiu nas plantas submetidas às diferentes lâminas de irrigação, que variou de 81,81 a 82,67% indicando ocorrência do processo de osmorregulação. Esse resultado corrobora aos encontrados por Santos (2013), que ao trabalhar com variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica também não encontrou diferenças significativas no teor relativo de água foliar, sugerindo assim que os mecanismos fisiológicos de aclimação ao estresse estavam atuando de forma eficiente no controle a queda no teor de água da folha. Os resultados de potencial hídrico foliar corroboram os de Medeiros et al (2010), que ao estudar as limitações fisiológicas de duas variedades de cana-de-açúcar sob supressão de água também encontrou valores decrescentes de potencial hídrico foliar em função do estresse hídrico aplicado.

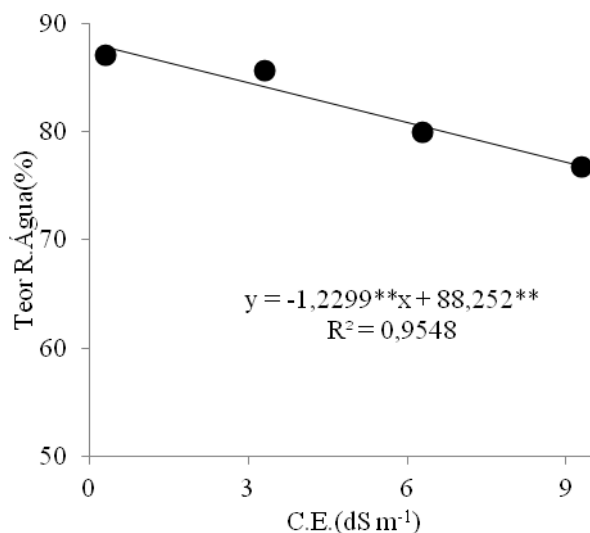
No tratamento com a maior lâmina de água (100%- CP-MF) observou-se a maior condutividade elétrica do solo (3,01dS m<sup>-1</sup>). Este tratamento recebeu e armazenou uma maior quantidade de sais uma vez que recebeu o dobro de volume de água de irrigação com água salina. Considerando que a irrigação plena foi dimensionada de forma que o solo não ultrapassasse a capacidade de campo, não ocorreu a drenagem nem lixiviação dos sais.

A interação entre as lâminas de água e a condutividade elétrica da água de irrigação foi significativa para a produção de biomassa apenas na lâmina 100% CP (Figura 6). Nesse tratamento foi aplicado maior quantidade de água de irrigação, portanto, foi o que mais acumulou sais, o que resultou numa menor produção de biomassa nos maiores níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. A salinidade altera a absorção de água, e nutrientes, taxa fotossintética entre outros. Todas essas alterações metabólicas resultam na diminuição da divisão e expansão celular e conseqüentemente diminuição do crescimento vegetativo e produção de biomassa (PRISCO et al.,2010).



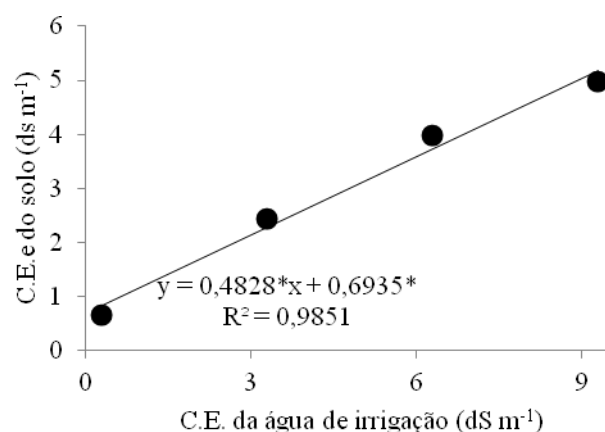
**Figura 6.** Massa fresca (A) e Massa seca (B) de plantas de cana-de-açúcar irrigadas com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação provocou um decréscimo no teor relativo de água nas plantas submetidas a todos os tratamentos estudados (Figura 7).



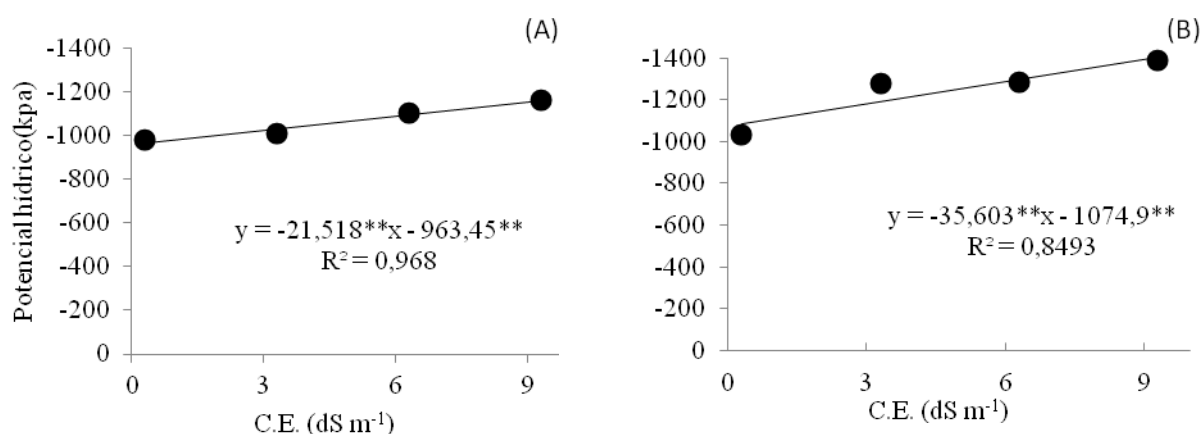
**Figura 7.** Teor relativo de água de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas.

A interação entre as lâminas de água e a condutividade elétrica da água de irrigação foi significativa apenas para a lâmina 100%, como esperado, a condutividade elétrica do solo aumenta em função dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 8).



**Figura 8.** Condutividade elétrica do solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 100% CP.

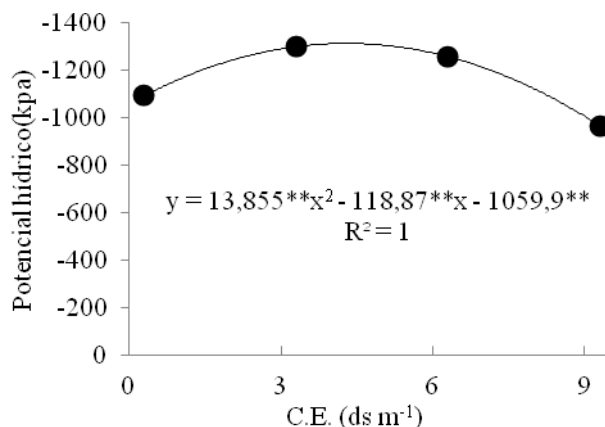
O potencial hídrico foliar  $\Psi_w$  foi altamente influenciado pela condutividade elétrica da água de irrigação e da lâmina de irrigação aplicada (Figuras 9 e 10). Os vegetais absorvem água do solo quando as forças de embebição das células do sistema radicular são maiores do que as forças com que a água é retida no solo. Quanto maior o teor de sais na solução do solo maiores as forças de retenção da água, por seu efeito osmótico e, portanto, maior o problema de escassez de água na planta (PRISCO, 2010).



**Figura 9.** Potencial hídrico de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas (A) sob irrigação plena e (B) 50% CP.

O potencial hídrico foliar  $\Psi_w$  decresce de maneira linear em função do aumento da condutividade elétrica da água de irrigação nas lâminas de irrigação de 100% e 50% CP (Figura 9). Nas plantas submetidas a lâmina 50% PRD, observou-se os menores valores do potencial hídrico na condutividade elétrica da água de irrigação de 3,3 e 6,3, dS m<sup>-1</sup>. No

entanto quando o estresse salino atinge o nível máximo (9,3 dS m<sup>-1</sup>), o potencial hídrico foliar aumenta, evidenciando que mecanismos de proteção foram ativados para manter as atividades metabólicas em condições normais (Figura 10).



**Figura 10.** Potencial hídrico de plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas sob irrigação com 50% PRD.

Ocorreu interação significativa para a atividade das enzimas ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase (Tabela 7).

**Tabela 7.** Análise de variância (ANOVA) entre lâminas de irrigação, condutividade elétrica da água e interação entre lâminas de irrigação x condutividade elétrica da água para as variáveis: Atividade enzimática da ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase.

Fonte de Variação	Quadrado Médio		
	Ascorbato Peroxidase	Catalase	Superóxido Dismutase
	U $\mu\text{mol AsA gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$	U $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ g MF}^{-1} \text{ min}^{-1}$	U $\text{gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$
Lâmina	1487,92*	50,15**	338,08*
CE água de irrigação	6370,11**	7,80**	132,70ns
Lâmina x Ce da água	3070,23**	6,79**	460,90**
Resíduo	429,52	1,54	70,61
CV	14,84	15,45	23,82

A atividade da SOD foi maior nas plantas submetidas à 50% CP-MF, o que reflete uma maior produção de superóxido nestas plantas e, portanto, um maior nível de estresse



(Tabela 8). A enzima superóxido dismutase é considerada a primeira linha de defesa das plantas e atua na proteção das plantas submetidas a estresse (ZHANG et al.,1997). A deficiência hídrica em cana de açúcar, genótipo RB931011, também provocou incremento na atividade da superóxido dismutase, na ordem de 26,5% (SILVA, 2010). Em outras culturas como o milho também foi observado aumento na atividade enzimática da SOD em função do aumento do déficit hídrico (VASCONCELLOS et al., 2009). Guimarães (2014) estudou o cultivo sustentável de sorgo forrageiro irrigado com água de qualidade inferior em condições semiáridas, encontrando decréscimos na atividade da superóxido dismutase em função do aumento da fração de lixiviação aplicada.

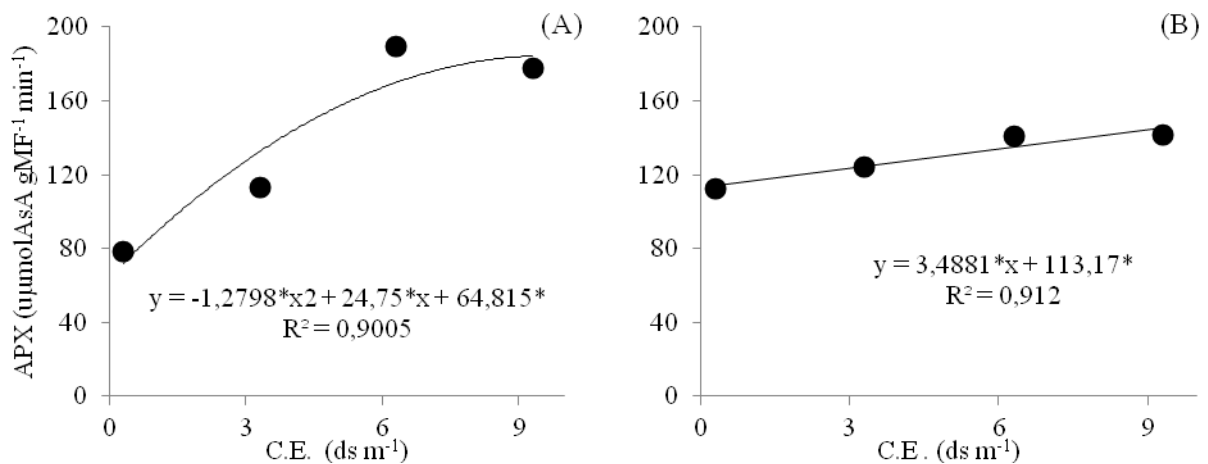
A atividade da APX apresentou comportamento similar à SOD sendo, portanto, maior nas plantas submetidas à 50% CP-MF. A SOD converte o superóxido em peróxido de hidrogênio que é o substrato da enzima ascorbato peroxidase, indicando a continuidade da atuação do sistema antioxidativo. A resposta de incremento, de até 30,23%, na atividade da ascorbato peroxidase foi observada em seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos ao estresse hídrico severo (0-20% CP) (SILVA, 2010).

A atividade da CAT ao contrário das demais foi maior no tratamento 100% CP-MF, esta enzima caracteriza-se por catalisar a conversão do peróxido de hidrogênio em água principalmente quando este se encontra nos peroxissomos.

**Tabela 8.** Comparação entre lâminas de irrigação em relação às variáveis: Atividade enzimática da superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase.

Lâmina	Superóxido Dismutase	Ascorbato Peroxidase	Catalase
	U gMF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	µmol AsA gMF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	µmol H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> g MF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>
100%	30,88 b	139,73 b	10,00 a
50%	40,05 a	149,19 a	7,55 b
50% PRD	34,91 b	128,91 b	6,56 b

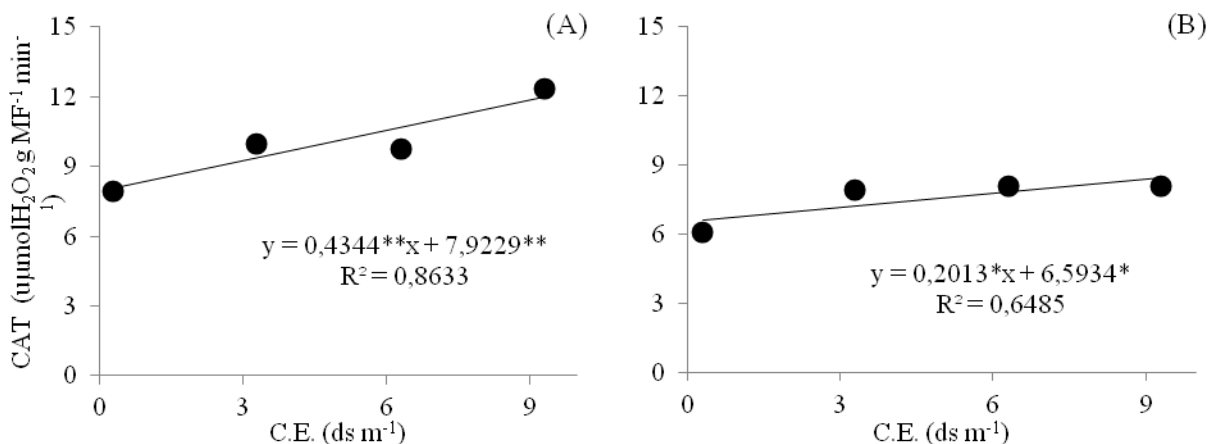
A atividade enzimática da APX aumentou em função do aumento da condutividade elétrica da irrigação nas plantas submetidas a 100% CP-MF e 50% CP-MA) sob irrigação alternada (PRD) (Figura 11).



**Figura 11.** Atividade enzimática da APX em plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas sob irrigação com 100-CP-MF (A) e 50%-CP-MA (B).

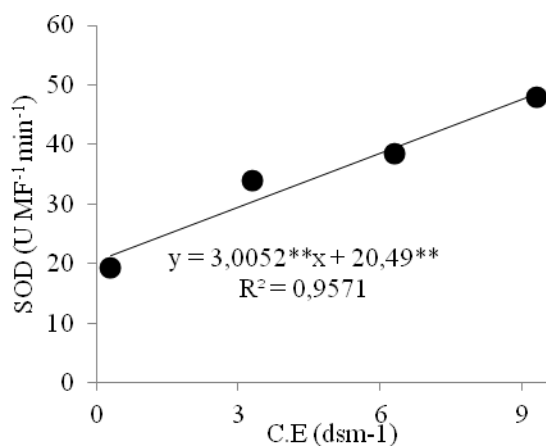
A atividade da enzima catalase aumentou de forma significativa nas plantas dos tratamentos controle, 100% CP-MF, e nas submetidas ao estresse convencional de 50% CP-MA (Figura 12). O incremento desta enzima foi mais acentuado nas plantas sob 100% CP-MF o que se deve, provavelmente, à maior quantidade de água aplicada e conseqüentemente a maior quantidade de sais presente na rizosfera. O manejo da irrigação não permitiu drenagem nos vasos, dessa forma mesmo a concentração de sais da água se mantendo a mesma dos outros tratamentos, a quantidade foi dobrada, causando maior estresse às plantas. Na cultura da alfafa Wang et al (2009) afirmam a importância da CAT na eliminação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, protegendo as plantas do estresse oxidativo causado pela salinidade.

As enzimas CAT e a APX atuam de forma semelhante em situações extremas, aumentando em função da severidade do estresse aplicado em culturas como milho e soja (VASCONCELOS et al., 2009). O incremento da catalase foi mais acentuado nas plantas sob 100 CP-MF o que se deve, como comentado anteriormente, à maior quantidade de sais presente na rizosfera. Trabalhos como o de Sairan et al (2002) relatam o aumento da atividade dessa enzima em genótipos tolerantes de outras culturas como o trigo. Tal comportamento não foi observado no estresse sob irrigação alternada (50% CP-MA), demonstrando que quando realizado o molhamento parcial do sistema radicular os efeitos danosos da salinidade na cana-de-açúcar podem ser mitigados. A CAT é fundamental na defesa antioxidativa dos vegetais e atua diretamente na detoxificação das ROS durante os mais diferentes estresses, eliminando os efeitos deletérios do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (BARTOSZ, 1997; FOYER & SHIGEOKA, 2011).



**Figura 12.** Atividade enzimática da Catalase (CAT) em plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas sob irrigação com 100-CP-MF (A) e 50%-CP-MA (B).

A atividade enzimática da SOD aumentou de forma significativa apenas no tratamento 50% CP-MF. Esse resultado demonstra que no tratamento controle (100% CP-MF) a enzima superóxido dismutase não atua de forma significativa na reparação dos danos causados a cana-de-açúcar sob estresse salino (figura 13). No entanto a cana-de-açúcar demonstra a atuação de outras enzimas como a CAT e APX na reparação dos danos causados pela salinidade no tratamento controle (Figura 4 e 5).



**Figura 13.** Atividade enzimática da Superóxido dismutase em plantas de cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes condutividades elétricas com 50% CP-MF.

## Conclusões

Plantas sob irrigação alternada apresentaram maior capacidade de ativação de mecanismos de defesa para manter o potencial hídrico foliar adequado em condições de salinidade elevada.

Mesmo em condições de suprimento hídrico adequado a salinidade afetou negativamente o crescimento vegetal e o metabolismo enzimático.

As enzimas SOD e APX apresentam uma maior atividade nas plantas submetidas ao tratamento com uma redução de 50% CP-MF, evidenciando um estresse mais severo nas plantas.

A redução da massa seca em função da redução de 50% CP, aplicada tanto de forma convencional como em PRD, demonstra que ainda que as plantas sob tratamento PRD tenham uma melhor resposta enzimática isso não é convertido em maior eficiência de produção de massa seca.

## Referências bibliográficas

AZEVEDO, R.A., ALAS, R.M., SMITH, R.J., LEA, P.J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in leaves and roots of wild-type and catalase-deficient mutant of barley. **Plant Physiology**. v. 104, p. 280-292, 1998.

BARRS, H.D.; WEATHERLEY, P.E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, V.15, p. 413-428, 1962.

BARTOSZ, G. Oxidative stress in plants. **Acta Physiologiae Plantarum**. v.19, p.47-64, 1997.

BRUCE, W.B.; EDMEADES, G.O.; BARKER, T.C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. **Journal of experimental botany**. v.53, p.13-25, 2002.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Eng. Agrícola**, v.28, p.516-524, 2008.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura**. São Paulo, 2008. 84 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. rev. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAO. **Food production and security**. 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm#brazil>>. Acesso em: 01 de fev. 2014.

FOYER, C.H.; SHIGEOKA, S. Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 155, p. 93-100, 2011.

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

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. [Photosynthesis, Osmoregulation and early growth of four varieties of cane sugar subjected to water stress]. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2010. Disponível em: < [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/fotossintese-osmorregula%C3%A7%C3%A3o-crescimento-inicial-quatro-variedades-cana-a%C3%A7ucar-submetidas-a/id/36526880.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/fotossintese-osmorregula%C3%A7%C3%A3o-crescimento-inicial-quatro-variedades-cana-a%C3%A7ucar-submetidas-a/id/36526880.html)>. Acesso em: 01 de fev. 2014.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V. ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 14, p. 378–386, 2010.

GUIMARÃES, M.J.M. **Cultivo sustentável do sorgo forrageiro irrigado com água de qualidade inferior em condições semiáridas**. [Sustainable cultivation of irrigated sorghum with lower quality water in semi-arid conditions]. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2014.

HAVIR, E.A., MCHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, p. 450-455, 1987.

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

IPA. EMPRESA PERNAMBUCANA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2. ed. Recife, 2008. 198p.

KANG, S., ZHANG, J. Controlled alternate partial rootzone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. **J. Exp. Bot.** v. 55, p. 2437–2446, 2004.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der erder*, Gotha: Verlag Justus perthes. 1928. Wall-map 150cm x 200cm.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying, **Land & Water Australia**, Canberra, 2003.

LI, C.; SUNA, J.; LI, F.; ZHOUA, X.; QIANGA, X.; GUOA, D. Response of root morphology and distribution in maize to alternate furrow irrigation Agricultural. **Water Management**. v.98, p.1789-1798, 2011.

LI, Q.M., LIU, B.B. Comparison of three methods for determination of root hydraulic conductivity of maize (*Zea mays* L.) root system. **Agricultural Sciences in China**. p.1438–1447, 2010.

MATSUOKA, S. **Relatório anual de programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar**. Araras: UFSCar, CCA, DBV, 2000. 39p.

MEDEIROS, D.B.; SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; TEIXEIRA, M.M.; BUCKERIDJE, M.S. Limitações fisiológicas em duas variedades de cana-de-açúcar sob supressão de água e recuperação. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**. p.213-226, 2010.

MUNIR, N.; AFTAB, F. The role of polyethylene glycol (PEG) pretreatment in improving sugarcane salt (NaCl) tolerance. **Turkish journal of botany**, v.33, p. 407-415, 2009.

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

PINCELLI, R.P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. [water stress tolerance in varieties of cane sugar evaluated by means of variable]. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2010.

PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. **Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. Manejo da salinidade na agricultura irrigada: Estudos básicos e aplicados**, Ceará, 2010. Disponível em: <[http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/cap\\_10\\_Fisiologia%20e%20bioqu%C3%83%C2%ADmica%20do%20estresse.pdf](http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/cap_10_Fisiologia%20e%20bioqu%C3%83%C2%ADmica%20do%20estresse.pdf)> Acesso em: 02 de fev. 2014.

SAIRAN, R.K.; RAO, K.V.; SRIVASTAVA, G.C. Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant science**, v.163, p.1037-1046, 2002.

SANTANA, M.J.; CARVALHO, J.A.; SOUZA, K.J.; SOUZA, A.M.J.; VASCONCELOS, C.L.; ANDRADE, L.A.B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) em solos com diferentes níveis texturais. **Ciênc.agrotec**. v.31, p.1470-1476, 2007.

SANTOS,C.M. **Mecanismos fisiológicos e bioquímicos da cana-de-açúcar sob estresses induzidos por deficiência hídrica e paraquat.**[ Physiological and biochemical mechanisms of cane sugar under stress induced by water stress and paraquat]. 2013.108 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de ciências agrônômicas da UNESP, São Paulo, 2013.

SILVA,P.B. **Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico.**[Physiological aspects of six genotypes cane sugar subject to water stress].2010.98 f.Dissertação (Mestrado em produção vegetal e proteção de plantas)-Universidade Federal de Alagoas,Alagoas, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal:** Crescimento e desenvolvimento. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v.58, p.339-366, 1981.

VASCONCELOS, A. C. F. et al., Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agrícola**, v.66, p.395-402, 2009.

WANG; W-B et al., Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.47, p.570–577, 2009.

YANG, L.; QUA, H.; LI, F. Effects of partial root-zone irrigation on physiology, fruit yield and water use efficiency of tomato under different calcium levels. **Agricultural Water Management**, v.104, p.89–94, 2012.

ZHANG, J.; KIRKHAM, M. B. Lipid peroxidation in sorghum and sunflower seedlings as affected by ascorbic acid, benzoic acid, and propyl gallate. **Journal of Plant Physiology**, v. 149, p.489-493, 1996.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo em condições hídricas adequadas a salinidade afeta negativamente o desenvolvimento do vegetal.

Em condição de estresse hídrico e salino a cana-de-açúcar ativa seus mecanismos de aclimação para manter a turgescência celular.

Com a aplicação do estresse combinado (hídrico e salino) houve aumento na atividade das enzimas ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase, mostrando que a deficiência hídrica e salinidade provocam aumento no estresse oxidativo em cana-de-açúcar.

Plantas de cana-de-açúcar com melhor resposta enzimática nem sempre conseguem demonstrar maior eficiência produtiva.