

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
MIGUEL JULIO MACHADO GUIMARÃES

**CULTIVO SUSTENTÁVEL DO SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO COM ÁGUA
DE QUALIDADE INFERIOR EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

RECIFE-PE

2014

MIGUEL JULIO MACHADO GUIMARÃES

**CULTIVO SUSTENTÁVEL DO SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO COM ÁGUA
DE QUALIDADE INFERIOR EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

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^ª Dra. Lilia Gomes Willadino

Co-orientador

Dsc. Welson Lima Simões

RECIFE-PE

2014

Ficha catalográfica

G963c Guimarães, Miguel Julio Machado
Cultivo sustentável do sorgo forrageiro irrigado com água de
qualidade inferior em condições semiáridas / Miguel Julio Machado
Guimarães. – Recife, 2014.
69 f. : il.

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

1. Crescimento 2. Salinidade 3. Estresse oxidativo
4. Sorghum bicolor [L.] Moench I. Willadino, Lilia Gomes,
orientadora II. Título

CDD 631

CULTIVO SUSTENTÁVEL DO SORGO FORRAGEIRO IRRIGADO COM ÁGUA DE
QUALIDADE INFERIOR EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 20 de fevereiro de 2014

Dsc. Lilia Gomes Willadino
ORIENTADORA

Dsc. Ênio Farias de França e Silva
Examinador interno

Dsc. José Nildo Tabosa
Examinador externo

Dsc. Welson Lima Simões
Examinador externo

RECIFE-PE

2014

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre iluminar o meu caminho.

Aos meus pais, Aderaldo e Sandra Guimarães, pela educação, formação pessoal e apoio em toda minha vida.

Ao meu irmão, João Henrique, que mesmo na distância sempre se manteve presente em todos os momentos.

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.

Aos amigos do PGEA Vinicius Mendes, Marcos Felix, Luis Antonio, Renato Lima, Fabio Santiago, Hammady Ramalho, Eduardo Henrique, Anderson Bob, Alan Cesar, Francisco Assis, Jucicléia, Rochele Vasconcelos, Helena Café: “Valeu Galera!”.

A Prof^a Lilia Gomes Willadino, por toda orientação, ensinamentos, paciência, amizade e, principalmente, confiança

Ao pesquisador Welson Lima Simões, por me oferecer a oportunidade de realizar minha pesquisa em sua unidade de trabalho, pela confiança e companheirismo.

A Embrapa Semiárido pela infra-estrutura e apoio durante a realização do trabalho. Aos funcionários, bolsistas e estagiários: “Muito obrigado por todo o apoio!”.

Aos grandes amigos pesquisadores e coordenadores que conheci nesta unidade de trabalho: “Vocês foram muito importantes!”.

A nova família que construí em Petrolina: Jair Andrade, Moises Alves, Janderson Medrado, Ezequiel Santos, Iug Lopes, Daniela Coelho, Mirian Medeiros: “Vamos trabalhar!”.

Ao grande amigo Gian Carlo, por me apoiar e incentivar nesse momento de mudanças e novidades em minha vida: “Valeu Tchê!”.

A todos do grupo LCTV, sem a ajuda deste grupo de fato esta pesquisa não seria realizada, principalmente Luciana Herculano, que me aturou durante todas as análises bioquímicas: "Lu, muito obrigado!".

Aos meus irmãos da vida, Rafael Silva, Douglas Elizeu, Francisco Assis, 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 palavra convence, o Exemplo arrasta.”

(Colégio da Polícia Militar, 2006)

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	14
REVISÃO DE LITERATURA	16
A cultura do sorgo	16
A aquicultura no semiárido brasileiro: Integração aquicultura - agricultura	19
A salinidade na agricultura.....	20
Estresse oxidativo.....	23
CAPÍTULO 1: Cultivo de variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas	33
Resumo.	34
Abstract:	34
Introdução.....	35
Material e Métodos.....	36
Resultados e discussão	40
Conclusões.....	48
Referências bibliográficas	48
CAPÍTULO 2: Metabolismo enzimático em variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas	54
Resumo.	55
Abstract.....	56
Introdução.....	56
Material e Métodos.....	58
Resultados e Discussão.....	61
Conclusões.....	65
Referências bibliográficas	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	69

RESUMO

O semiárido brasileiro apresenta diversas limitações ambientais em seu território. O desenvolvimento de pesquisas que busquem gerar informações importantes para mitigar os prejuízos causados por estas limitações é de extrema importância. Dentre as estratégias de convivência com o semiárido, destaca-se o uso múltiplo dos recursos hídricos. Com isto, o presente trabalho objetivou avaliar o cultivo sustentável do sorgo forrageiro no semiárido nordestino irrigado com água salina provinda da piscicultura, utilizando a técnica de fração de lixiviação para minimizar os efeitos dos sais sob as plantas. O experimento foi implantado no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio São Francisco, no período de fevereiro a julho de 2013. Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, composto por três variedades de sorgo forrageiro (Volumax, F305 e Sudão) e quatro frações de lixiviação - FL (0; 5; 10 e 15%) com uso de efluente salino da piscicultura, com quatro blocos. O experimento foi implantado em fileiras simples, espaçadas 0,5 m entre si, com 10 plantas por metro linear. A colheita foi realizada no mês de julho quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto pastoso a farináceo. Na ocasião foram avaliados parâmetros biométricos (altura e diâmetro do colmo; largura, comprimento e número de folhas, e área foliar), produtivos (produtividade de massa fresca e seca; teor relativo de água e eficiência do uso da água), e coletadas amostradas do limbo foliar para determinação da atividade enzimática das enzimas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD). Com os resultados obtidos pode-se verificar que a irrigação com efluente salino tem relação direta com os parâmetros biométricos e produtivos da cultura, sendo que a utilização de frações de lixiviação promoveu um aumento percentual de até 25% na produtividade do sorgo forrageiro quando irrigado com 15% de FL. Observou-se uma tendência a redução da atividade enzimática das enzimas CAT e APX com o aumento da fração de lixiviação aplicada, no entanto, a enzima SOD apresentou comportamento crescente com o aumento das frações. As variedades Volumax e Sudão apresentaram baixos valores de atividade enzimática com o aumento das FL, podendo este comportamento estar ligado a uma maior adaptabilidade destas variedades ao estresse abiótico aplicado.

Palavras-chave: crescimento, salinidade, estresse oxidativo, *Sorghum bicolor* [L]. Moench

ABSTRACT

Sustainable forage sorghum cultivation irrigated with lower quality water under semiarid conditions

Abstract: Brazilian semiarid presents a great diversity of environment limitations. The development of researches that aimed to generate information which results in mitigation of damage caused by its limitation is extremely important. One strategy to semiarid is the multiple uses of water. This research aimed to evaluate the sustainable forage sorghum cultivation in semiarid irrigated with saline water from aquaculture, using the leaching fractions technique to minimize effects from salts in plants. The experiment was located at the Caatinga experimental field from Embrapa Semiárido, in Petrolina, locality of the semiarid of the State of Pernambuco, Northeast between February and July in 2013. It was adopted randomized block design disposed in split-plots consisting of three cultivars of forage sorghum (Volumax, F305 and Sudão) and four leaching fractions – LF (0; 5; 10; and 15%), with saline effluent from aquaculture. The experiment was implanted in lines, spaced 0.5 m, with 10 plants per meter. The harvest was in July when grains of central portion of panicle were soft dough to floury grains. The parameters evaluated were: biometrics (height and stem diameter; width, length, number of leaves and leaf area); productive (productivity of fresh and dry mass; water content and water efficiency), and it was collected samples of leaf limbo to determination of enzymatic activity of catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD). It was observed that irrigation with saline effluent has direct relation with biometric and productive parameters. In addition, the irrigation with 15% of leaching fraction (LF) promoted an increase of 25% of forage sorghum productivity. It was observed a tendency to reduction of enzymatic activity of CAT and APX with an increase of leaching fraction. However, the enzyme SOD has increased with increment of leaching fraction (LF). Volumax and Sudão cultivars have performed low values of enzymatic activity with the increase of LF and it might be caused by adaptability of cultivars to abiotic stress.

Keyword: Growth, Salinity, oxidative stress, (*Sorghum bicolor* [L]. Moench)

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1:

- Tabela 1.** Granulometria, parâmetros físicos e análise química do solo. 38
- Tabela 2.** Características químicas da água de irrigação proveniente da piscicultura..... 39
- Tabela 3.** Análise de variância (ANOVA) entre frações de lixiviação, variedades de sorgo forrageiro e interação frações de lixiviação X variedades para as diferentes variáveis biométricas. 43
- Tabela 4.** Comparação entre variedades de sorgo forrageiro em relação às variáveis de crescimento: altura e diâmetro do colmo, número de folhas, comprimento e largura da folha +3, e área foliar total. 43
- Tabela 5.** Resumo da análise de variância (ANOVA) entre frações de lixiviação, variedades de sorgo forrageiro e interação fração de lixiviação X variedades para as variáveis produtividade de matéria fresca e seca, teor relativo de água e eficiência do uso da água. 45
- Tabela 6.** Comparação entre variedades de sorgo forrageiro em relação às variáveis: produtividade, teor relativo de água e eficiência do uso da água. 46

Capítulo 2.

- Tabela 1.** Granulometria, parâmetros físicos e análise química do solo. 58
- Tabela 2.** Características químicas da água de irrigação proveniente da piscicultura..... 60
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância (ANOVA) entre frações de lixiviação, variedades de sorgo forrageiro para as variáveis bioquímicas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD). 62
- Tabela 4.** Atividade enzimática da SOD em variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação em condições semiáridas..... 62
- Tabela 5.** Atividade enzimática da CAT e APX em variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação em condições semiáridas. 64

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1:

- Figura 1.** Croqui do experimento no campo, sendo (A) – Bloco e (B) – Parcela.....37
- Figura 2.** Dados de Temperatura do ar (A); umidade relativa do ar – (B); precipitação, evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) – (C), e condutividade elétrica da água de irrigação – (D).41
- Figura 3.** Distribuição da umidade no perfil de um solo cultivado com variedades de sorgo forrageiro irrigados com água salina proveniente da piscicultura submetido as frações de lixiviação de 0; 5; 10 e 15 %, sendo CC a umidade da capacidade de campo do mesmo.42
- Figura 4.** Altura (A) e diâmetro do colmo (B) de plantas de sorgo forrageiro irrigados com água proveniente da piscicultura submetido a diferentes frações de lixiviação.44
- Figura 5.** Produtividade de massa fresca (A) e seca (B) de sorgo forrageiro irrigados com água proveniente da piscicultura submetido a diferentes frações de lixiviação.47
- Figura 6.** Aumento percentual da produtividade (t ha⁻¹) de massa fresca e seca em plantas de sorgo forrageiro irrigados com água proveniente da piscicultura submetido a diferentes frações de lixiviação.....47

Capítulo 2:

- Figura 1.** Croqui do experimento no campo, sendo (A) – Bloco e (B) – Parcela..... 59
- Figura 2.** Atividade enzimática da SOD em variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação em condições semiáridas..... 63

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANA – Agência Nacional de águas
- APPS – Associação Paulista de Produtores de sorgo
- APX – Peroxidase do ascorbato
- CAT – Catalase
- DAP – Dias após o plantio.
- DHAR – Redutase do dehidroascorbato
- DN – Diâmetro nominal
- ETo – Evapotranspiração de referência
- EUA – Eficiência de uso da água
- FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
- FDR – Reflectometria no Domínio da Frequência.
- FL – Fração de lixiviação
- GR – Redutase da glutathione
- H₂O₂ – peróxido de hidrogênio
- IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco
- MDHAR – Redutase do monodehidroascorbato
- POD – Peroxidase
- ROS – Espécies reativas de oxigênio
- SOD – Superóxido dismutase
- O₂^{•-} – Superóxido
- OH[•] - Radical hidroxila
- ¹O₂ – Oxigênio "singlet"
- O₂ – Oxigênio molecular

INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro apresenta uma alta variabilidade climática e grande escassez hídrica. Com uma pequena quantidade de água disponível, a Região Nordeste enfrenta problemas diferenciados que exigem soluções específicas. A implantação de políticas de gestão de água constitui as ações necessárias para mitigar a problemática da água no semiárido. Tais ações devem buscar o aumento da disponibilidade e eficiência do uso da água, além da construção de infraestrutura hídrica, o gerenciamento dos recursos hídricos, gerenciamento do risco climático e controle da demanda e do desperdício, principalmente no que se refere à irrigação (SOUZA FILHO, 2011).

Como estratégias de convivência com o semiárido, destacam-se, atualmente, os sistemas produtivos que promovem o uso múltiplo das águas. A integração agricultura – aquicultura é uma estratégia sustentável de utilização dos recursos hídricos. Os sistemas integrados possuem grande importância no uso eficiente das águas, e são a chave para melhorar a segurança alimentar e a redução da pobreza nas zonas rurais (FAO, 2007).

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. Uma alternativa de subsistência de produtores em áreas semiáridas, onde a única fonte de recursos hídricos é o lençol freático com água salina, é a utilização de um sistema integrado de agricultura com aquicultura, como o cultivo da tilápia rosa (*Oreochromis sp.*), atividade esta que aumenta a qualidade de vida da população local. Assim, a água salina dos poços artesianos e das descargas dos rejeitos destas atividades, que apresentam altos teores de fósforo e nitrogênio, podem ser utilizadas para irrigação, desde que bem manejada.

Para o aproveitamento de água com níveis de sais elevados deve-se levar em consideração o potencial de produção da cultura sobre essas condições, o que torna imprescindível a seleção de genótipos cada vez mais tolerantes a salinidade e que apresentem adaptabilidade a região. Neste contexto, o potencial de cultivo de sorgo forrageiro tolerante à salinidade, visando à inclusão dessa cultura em sistemas de produção que utilizam água de baixa qualidade para irrigação torna-se um fator importante para agricultura familiar.

Quando se utiliza água salina na irrigação, diversos são os efeitos causados no crescimento e desenvolvimento das culturas. O estresse salino provoca um estresse secundário grave: o oxidativo, qual nada mais é que o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) no metabolismo celular. Este aumento da produção de ROS causa vários distúrbios nos processos fisiológicos nos vegetais. Em contrapartida ao estresse, as plantas possuem um complexo mecanismo de defesa antioxidativo que é acionado quando há riscos de danos às plantas.

Estudos sobre a adequação do manejo da irrigação para culturas forrageiras, avaliando as respostas de parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos das mesmas aos ambientes salinos existentes no nordeste são um desafio que deve agregar esforços no sentido de mitigar as limitações encontradas pela população que vive nestes locais. Com isto, o presente trabalho objetivou avaliar o cultivo sustentável do sorgo forrageiro no semiárido nordestino irrigado com água salina provinda da piscicultura, utilizando a técnica de fração de lixiviação para minimizar os efeitos dos sais sob as plantas.

REVISÃO DE LITERATURA

A cultura do sorgo

O sorgo é uma planta da família Poaceae, do gênero *sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. Sua origem está provavelmente na África, no entanto, algumas evidências indicam que houve duas regiões de dispersão independentes: África e Índia (EMBRAPA, 2009). No Brasil, acredita-se que foi introduzido pelo nordeste durante a colonização, através do tráfico de escravos africanos.

A expansão da cultura ocorreu a partir da década de 50, nos Estados Unidos, com o surgimento de variedades híbridas de porte baixo adaptadas a colheita mecânica. Nos anos 60 houve uma reintrodução de forma ordenada no Brasil, por meio dos institutos de pesquisa públicos e universidades. Em pouco tempo, novas coleções trazidas da África e dos Estados Unidos deram origem a cultivares forrageiras altamente produtivas. Por volta dos anos 70, com a entrada do setor privado na produção, o Estado do Rio Grande do Sul passou a ser o maior produtor do país. Posteriormente, com tecnologia importada da Argentina, Uruguai, e outros, a cultura se expandiu pelo Estado de São Paulo, atingindo a região central do Brasil (EMBRAPA, 2009).

No Nordeste, os maiores incentivos oficiais foram nas décadas de 70 e 80, no entanto, tal esforço governamental não conseguiu estabelecer o sorgo granífero na região de forma desejada, pois atualmente só existe alguma produção expressiva no Estado da Bahia (PINTO, 2008)

A partir do início dos anos 90 a área cultivada com sorgo no Brasil deu um salto extraordinário, destacando-se a Região Centro Oeste como principal produtora de sorgo granífero e o Rio Grande do Sul e Minas Gerais liderando a produção de sorgo forrageiro. Segundo a APPS (2012) a área de cultivo do sorgo no Brasil é de 1.288.893 hectares, sendo que 26,3% destina-se a produção de forragens. Deste total, a região Sul destaca-se com 42,83%, seguida da Sudeste (32,35%), do Centro Oeste (20,36%), do Nordeste (2,17%) e da região Norte com 0,99% da produção total de sorgo forrageiro (1,30% das sementes foram destinadas à exportação).

Segundo Tabosa et al. (2013) registros de cultivo de sorgo granífero no semiárido brasileiro compreendendo áreas dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia e norte de Minas Gerais, informam 102, 104 e 100 mil hectares plantados, referentes aos anos de 2008, 2009 e 2010, respectivamente. Este quantitativo representa valores médios de 10 a 12% da área cultivada de sorgo granífero no Brasil. O mesmo autor afirma que são inexistentes as informações acerca da área cultivada com variedades locais, sendo estas informações inseridas nas áreas de cultivo de forrageiras de uma forma geral.

A Produção de sorgo forrageiro vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente em regiões onde há baixa precipitação e um regime de chuvas irregular, devido à sua facilidade de cultivo, resistência à seca, rapidez no estabelecimento e no crescimento, e por sua facilidade de manejo para o corte, além de um bom valor nutricional e alta produção de forragem (MELLO et al., 2003; MURTA, 2012; RODRIGUES, 2000). Além disto, após a colheita a planta do sorgo consegue conservar vivo o seu sistema radicular, que, em condições favoráveis, possibilita a rebrota (MELLO et al. 2003).

Por se tratar de uma gramínea que possui mecanismos fisiológicos que a tornam mais tolerante ao estresse hídrico, pode suportar períodos maiores de estiagem (LIMA et al., 2010), constituindo-se numa importante alternativa de exploração agrícola para o agricultor do semiárido brasileiro. Tal região possui 969.589,4 km², cobrindo 11% do território nacional. A mesma apresenta uma precipitação média anual variando espacialmente de 400 a 2.000 mm, sendo caracterizada por ter uma alta demanda evaporativa (SOUZA FILHO, 2011).

O sorgo é uma planta C₄, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas, se desenvolvendo melhor em regiões próximas aos 40° de latitude Sul. Durante os 3-4 meses de seu ciclo vegetativo, requer uma precipitação média de 300 mm e temperaturas entre 26 a 30°C. Tolerância ao déficit de água e o excesso de umidade no solo do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo. Sua altura pode variar entre 40 cm e 4 m, dependendo da sua genética. Seu sistema radicular é bem desenvolvido, podendo chegar até 1,50 m de profundidade e 2,0 m de alcance lateral (MAGALHÃES et al., 2000). Quanto à salinidade, o sorgo é considerado moderadamente tolerante (LACERDA et al., 2006; OLIVEIRA & GOMES FILHO, 2011). Dias & Blanco (2010) afirma que para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas de sorgo, a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo não deve ultrapassar 4 dS m⁻¹.

Necessitando de aproximadamente 271 litros de água para produzir 1 kg de matéria seca (FAO, 2001), o sorgo possui elevada capacidade de aproveitamento de água e conversão

em matéria seca. Em estudos realizados para quantificar a produção de biomassa, vários autores (ANUNCIACÃO FILHO et al., 2004; SANTOS & GRANEIRO, 2013; TABOSA et al., 2002) obtiveram produtividades médias de matéria seca que variam de acordo com a localidade, o material genético e o sistema de cultivo, destacando-se Carvalho & Aragão (1989) que encontraram produtividade média em duas colheitas valores de 20,5 a 35,9 t há⁻¹ em diferentes ambientes do semiárido do Estado de Sergipe, considerando cultivares de sorgo desenvolvidas para a região. Nesse trabalho o nível máximo de produtividade (50,6 t há⁻¹) foi alcançado no município de Gararu em 1986, com a variedade IPA – 467-4-2.

Sob condições irrigadas, foram obtidos valores da ordem de 50,3 t há⁻¹ de matéria seca com a variedade forrageira SF15 de colmo sacarino em um único corte na localidade de Canindé do São Francisco, também no Estado de Sergipe (TABOSA et al., 2013).

O potencial forrageiro do sorgo está relacionado à sua capacidade produtiva e ao seu alto valor nutricional para a alimentação animal. Em trabalhos avaliando a produção e a composição do sorgo forrageiro em relação a outras forragens, não foram encontradas diferenças significativas para a produção de matéria seca e teor de proteína bruta (COSER & MARASCHIN, 1981). No entanto, Freitas & Saibro (1976) verificaram que a cultura apresenta uma baixa digestibilidade quando comparada ao milho.

O desenvolvimento da cultura está dividido em nove estádios, tais informações permitem avaliar as necessidades de adequadas práticas de manejo durante todo seu ciclo. O estágio 0 compreende da sementeira ao surgimento do coleóptilo na superfície do solo; o estágio 1 é caracterizado pela visualização da lígula/colar da 3ª folha; no estágio 2 há a presença da lígula/colar da 5ª folha; o estágio 3 é determinado pelas condições do ambiente e pelas características genéticas da planta, nele inicia-se o alongamento rápido do colmo conjuntamente com o desenvolvimento completo de sete a dez folhas; no estágio 4 todas as folhas são completamente desenvolvidas, com exceção das últimas três ou quatro; o estágio 5 é caracterizado pela máxima área foliar, nele todas as folhas estão completamente desenvolvidas, e a panícula alcança seu comprimento máximo dentro da bainha da folha bandeira. A planta atinge o estágio 6 quando 50% de floração for verificado; no estágio 7 cerca de 50% da matéria seca dos grãos já foram acumulados e o peso do colmo diminui, sendo este o ponto de colheita do sorgo forrageiro. Nos estádios 8 e 9 há uma transferência da matéria seca do colmo para os grãos, atingindo a maturação fisiológica quando atingir 22 a 23% de umidade nos grãos (MAGALHÃES et al., 2000). A maturação fisiológica ocorre por

volta dos 100 dias após o plantio, sendo que esse tempo pode variar em função da genética do material e das condições ambientais (MAGALHÃES et al., 2000).

Sua utilização em pastagens tropicais para a alimentação animal vem sendo uma alternativa de maior custo/benefício recomendada aos produtores, principalmente por ser uma espécie de crescimento rápido e resistente a períodos de escassez de água (BUSO et al., 2011).

A aquicultura no semiárido brasileiro: Integração aquicultura - agricultura

Dentre os recursos naturais úteis, os recursos hídricos se destacam como elemento essencial para a manutenção da vida na Terra. No entanto, apesar de vivermos num planeta com 70,8% de sua superfície coberta por água, apenas 0,5% encontra-se disponível para consumo (ANA, 2009). O Brasil apresenta uma situação confortável quanto aos recursos hídricos, com 12% do total da água doce superficial do mundo (ANA, 2007). A disponibilidade hídrica *per capita* indica uma situação satisfatória, quando comparada aos valores dos demais países. Todavia, existe uma distribuição espacial desigual, segundo ANA (2009) a região que concentra a maior quantidade é a Norte com 68%, seguida do Centro Oeste com 16%, Sul 7%, Sudeste 6%, e a menos favorecida Nordeste com apenas 3% dos recursos hídricos do Brasil.

Com uma pequena quantidade de água disponível, a Região Nordeste enfrenta problemas diferentes que exigem soluções específicas. A implantação de políticas de gestão de água contempla ações necessárias para mitigar a problemática da água no semiárido. Tais ações devem buscar o aumento da disponibilidade pelo aumento da eficiência do uso e controle da demanda e do desperdício, principalmente no que se refere à irrigação (CIRILO, 2011).

Do total da vazão consumida no Brasil, estima-se que 72% seja utilizada na irrigação (ANA, 2012). Levando em consideração que não são raros os sistemas que operam com eficiência de irrigação inferior a 50% (PRUSKI & PRUSKI, 2010), o aumento da eficiência do uso da água neste setor tem que merecer uma atenção especial. Além de políticas para melhorar o uso da água na agricultura, muito tem-se falado na integração aquicultura – agricultura.

De acordo com Oliveira & Santos (2011) a aquicultura é a atividade agrícola ou da agropecuária que trata da criação de organismos com habitat predominantemente aquático

(peixes, crustáceos, anfíbios, moluscos, répteis, quelônios, plantas, etc.). Tal atividade vem crescendo ligeiramente nos últimos anos, segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (2012) a produção da aquicultura continental no Nordeste apresentou um incremento de 38,9% na produção de pescado entre os anos de 2008 a 2010, atingindo a marca de 78.578,5 toneladas.

Promovendo o uso múltiplo das águas, a integração agricultura – aquicultura é uma estratégia sustentável de utilização dos recursos hídricos. Os sistemas integrados possuem grande importância no uso eficiente das águas, e são a chave para melhorar a segurança alimentar e a redução da pobreza nas zonas rurais (FAO, 2007).

Diversas são as formas de integrar a agricultura com a aquicultura, Oliveira & Santos (2011) cita como os mais usuais sistemas integrados: a aquicultura em canais de irrigação, aquicultura em ambientes modulares e agricultura irrigada (escala familiar e industrial), rizipiscicultura, aquaponia, aquicultura com águas subterrâneas salinas ou rejeito de dessalinizadores e agricultura irrigada, entre outros.

Segundo Dias et al. (2012) grande parte das águas subterrâneas do nordeste brasileiro apresenta elevada concentração de sais, chegando a alguns casos a terem duas vezes mais sais que os limites máximos permitidos para o consumo humano. Face a essa realidade o uso desses recursos para a produção agrícola tem se tornado uma alternativa de grande interesse econômico e social (OLIVEIRA & SANTOS, 2011).

O sistema integrado que utiliza o efluente salino da piscicultura na agricultura consiste em uma combinação de três subsistemas interdependentes. Inicialmente, a água é bombeada de poços salinos e enviada para tanques de criação de peixes (Passo 1), posteriormente, o efluente dessa criação, enriquecido em matéria orgânica, é aproveitado para a irrigação de culturas para alimentação animal (Passo 2), e por fim, a forragem, com elevado teor protéico, é utilizada para a engorda de caprinos e/ou ovinos (Passo 3), fechando assim um sistema de produção ambientalmente sustentável (DIAS et al, 2012).

Diversos são os estudos que acompanham a cadeia produtiva deste sistema (AMORIM et al., 2006; ARAÚJO et al. 2008; PORTO et al., 2004; ROTTA et al. 2008; SOUTO et al., 2004), no entanto, pesquisas são necessárias para poder consolidar os resultados obtidos.

A salinidade na agricultura

A agricultura irrigada vem sofrendo pressão da crescente demanda de alimentos no mundo. Devido a necessidade de aumentar a produtividade, o setor tem alcançado grande

expressividade na produção mundial com uma área irrigada no mundo em torno de 18% da área total cultivada, sendo esta responsável por 44% da produção agrícola do mundo. No Brasil estima-se que 4,6 milhões de hectares sejam irrigados, ou seja, apenas 6% da área total plantada, sendo 26% desse total representado pelas áreas irrigadas na Região Nordeste (ANA, 2009).

Num mundo em que muitos países já utilizam toda sua área agricultável, observa-se na irrigação um grande potencial produtivo (PIRES et al, 2008), no entanto, o manejo inadequado e o uso de água de baixa qualidade são os principais fatores no processo de degradação dos solos (SILVA et al., 2011).

Uma das principais consequências do manejo inadequado da irrigação é a salinização e alcalinização dos solos. Estima-se que um quarto de toda área irrigada no mundo encontra-se seriamente comprometida pelo excesso de sais. No Brasil, estas áreas se concentram principalmente no Nordeste, onde aproximadamente nove milhões de hectares estão comprometidos, sendo a Bahia o estado mais degradado com cerca de 44% das terras salinizadas, seguido do Ceará com 25,5% (LEITE, 2005).

No geral, os solos apresentam quantidades variáveis de sais solúveis em água, tais sais se movimentam para cima ou para baixo, carregados pelo movimento da mesma no perfil do solo (COSTA, 2007). Os problemas de salinidade se iniciam na própria formação do solo, a qual é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como o clima, o relevo, presença ou não de organismos vivos e o tempo de formação. Para Costa (2007) um solo é caracterizado salino quando a quantidade de sais existentes na rizosfera é capaz de impedir o crescimento normal das plantas, ativando assim os mecanismos de proteção das plantas ao estresse.

A salinidade é um estresse ambiental severo, na sua presença as funções metabólicas dos vegetais são limitadas radicalmente, tendo como consequência a seca fisiológica, sintomas de toxidez, redução da capacidade produtiva, entre outros distúrbios graves (AHMAD & JABEEN, 2005).

Fisiologicamente, estresse é a condição causada por fatores que tendem a alterar um equilíbrio. A sobrevivência das plantas ao estresse depende de vários fatores, podendo ser citados a origem do material genético, a intensidade e o tempo de exposição ao estresse. O estresse salino em plantas é formado por dois componentes: osmótico e iônico. O componente osmótico é resultado da elevada concentração de solutos na solução do solo, o que provoca um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico. Em resposta a este componente, há o

aumento da concentração de osmólitos no citosol, seja pela absorção de solutos seja pela síntese de compostos orgânicos compatíveis com o metabolismo celular (SILVEIRA et al. 2010; WILLADINO & CAMARA, 2010).

Posteriormente, há o acúmulo de íons salinos no citosol das células das plantas (Componente iônico), provocando problemas de toxicidade (principalmente dos íons Na^+ e Cl^-) e um desequilíbrio nutricional, destacando-se a redução da concentração de K^+ em função do incremento da salinidade (SILVEIRA et al. 2010; WILLADINO & CAMARA, 2010). Tentando resistir ao estresse, três mecanismos estão disponíveis para prevenir o acúmulo dos sais: restrição da entrada de Na^+ pela seletividade na absorção de íons, compartimentalização de Na^+ no vacúolo, e o transporte do Na^+ presente no citosol para o espaço apoplástico ou para o solo/substrato (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Uma planta dispõe de vários mecanismos de tolerância e escape, ou uma combinação de ambas para sobreviver ao estresse salino. Cada mecanismo irá entrar em ação em resposta as diversas variações ambientais provocadas pelos sais presentes na rizosfera (WILLADINO & CAMARA, 2010).

A irrigação com águas salinas e de qualidade inferior pode acarretar no aumento da concentração de sais nos solos, no entanto, tais águas raramente contêm quantidades de sais suficientes para causar injúrias imediatas às plantas, salva exceção nos casos onde ocorre o contato foliar (RHOADES, 1992). Sem a adoção de técnicas adequadas de manejo de água e solo, a concentração de sais no solo tende a aumentar e pode haver evolução da salinidade.

Nos diferentes métodos de irrigação (localizada, aspersão e superfície) a água move-se no solo de maneira particular a cada método, ocasionando assim diferentes formas de acúmulo de sais no solo, pois o movimento de sais no solo é governado pelo movimento da água (ASSIS JUNIOR, 2006). Com a irrigação, há o acúmulo de sais na rizosfera devido a evapotranspiração das culturas, na qual a água é transferida do solo para a planta e a atmosfera e deixa os sais na superfície e em todo o perfil do solo. Com quantidades excessivas de sais solúveis acumuladas na zona radicular, as plantas têm dificuldade de extrair água da solução do solo resultando na redução do crescimento, produtividade e qualidade das plantas (ANDRADE & CRUCIANI, 1998).

Tal salinidade pode ser controlada pela adição de uma lâmina de água superior à que as plantas necessitam. Esse total adicional de água de irrigação é definido como necessidade de lixiviação (do inglês: Leaching Fraction – LF), o mesmo é uma necessidade extra de água para expressar a lixiviação como uma fração da porcentagem de água aplicada que penetra no

solo. Para Richards (1954) é a fração de água de irrigação que deve penetrar abaixo da zona radicular para manter a salinidade em um nível específico. A FL deve variar com a tolerância à salinidade pela cultura e a salinidade da água de irrigação (TSIMPHO, 2011).

Com a aplicação de lâminas de lixiviação a salinidade no solo pode se manter dentro dos limites exigidos pelas culturas a qual ela está sendo aplicada, como isto, a redução no crescimento e desenvolvimento das culturas, devido a salinidade, não ocorrerá.

Estresse oxidativo

Muitos são os estresses que as plantas podem enfrentar. Sob condições estressantes as plantas reagem de formas adversas em função do estresse que está sofrendo. Estresses abióticos como déficit hídrico e salinidade promovem um estresse secundário, o oxidativo, o qual é resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) no metabolismo celular.

As principais ROS produzidas incluem os radicais superóxido ($O_2^{\cdot-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH^{\cdot}) e oxigênio "singlet" (1O_2). O poder citotóxico destas espécies é definido de acordo com a quantidade produzida pelas células. O estresse oxidativo é evidenciado quando a produção ultrapassa a capacidade antioxidante da célula (PANDHAIR & SEKHON, 2006).

As ROS são formadas pela redução parcial do oxigênio molecular (O_2). Com dois átomos de oxigênio, o O_2 é reduzido por quatro elétrons transportados ao longo da cadeia respiratória, gerando duas moléculas de água. Todavia, uma pequena parcela dos elétrons escapa da cadeia respiratória, resultando em uma redução parcial do oxigênio molecular, levando à produção de espécies reativas de oxigênio (SOARES & MACHADO, 2007).

As espécies reativas de oxigênio são, principalmente, subprodutos do metabolismo celular, podendo ser geradas também devido à destruição do sistema de transporte de elétrons durante a exposição a um estresse. Seu principal local de produção nas células, face a um estresse, são as organelas com alta atividade de oxidação metabólica ou com fluxo de elétrons sustentado: cloroplastos e mitocôndrias (BREUSEGEM et al., 2001; SOARES & MACHADO, 2007).

A formação das ROS se dá por etapas de redução univalente da molécula de oxigênio. Primeiramente, a redução de O_2 produz radicais de vida relativamente curta, os superóxidos. Esses ficam confinados onde foram formados, pois não conseguem atravessar membranas

biológicas. Os mesmos podem formar hidroxiperóxidos com duplas ligações (enos) ou duplas ligações alternadas (dienos), além de oxidar aminoácidos específicos, como metionina, histidina e triptofano, podendo ainda causar peroxidação de lipídeos no ambiente celular e nas membranas celulares (BREUSEGEM et al., 2001; SOARES & MACHADO, 2007). Em seguida, é gerado o radical peróxido de hidrogênio (H_2O_2), espécie considerada moderadamente reativa, pois, possui uma vida relativa longa e consegue atravessar as biomembranas e se distribuir na célula (VRANOVÁ et al., 2002).

O radical hidroxil (OH) é a última e mais reativa espécie a ser formada. O mesmo é formado pela redução do H_2O_2 por íons metálicos (Fe^{2+} e Cu^{2+}) na reação de Fenton e tem grande afinidade por moléculas biológicas em seu sítio de produção (SOARES & MACHADO, 2007).

Para se defenderem do estresse as plantas desenvolveram 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 é fundamental para prevenir os danos causados pelo estresse oxidativo extremo (DEWIR et al., 2006; SAHER et al., 2004). Estudos mais recentes indicam as enzimas do sistema antioxidante como sinalizadoras do estresse devido a sua alta sensibilidade às condições de estresse abiótico (MITTLER, 2006).

Nos mecanismos enzimáticos destacam-se: superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), peroxidases (POD), redutase da glutathione (GR), redutase do monodehidroascorbato (MDHAR), redutase do dehidroascorbato (DHAR) (NOCTOR & FOYER, 1998).

Dentre os sistemas antioxidantes não enzimáticos destacam-se o ácido ascórbico e os compostos fenólicos. Os compostos fenólicos se caracterizam por apresentar em sua estrutura um anel aromático com uma ou mais hidroxilas, o que permite que os mesmos reajam com agentes redutores e exerçam um papel protetor contra o estresse oxidativo (SCALBERT & WILLIAMSON, 2000).

Um composto amplamente estudado é a prolina. A mesma assume papel importante na osmorregulação em plantas submetidas a estresse osmótico, na estabilização das estruturas das macromoléculas e organelas (GIRIJA et al., 2002) e, segundo JAIN et al. (2001), influencia positivamente na defesa da peroxidação lipídica das membranas celulares das plantas submetidas à salinidade. Devido a sua grande participação nos mecanismos de defesa a estresses, a prolina vem sendo bastante pesquisada. Sua estrutura molecular com um

carbono terciário favorece a formação de um radical estável que poderia resultar na quebra da cascata de reações de radicais livres disparadas pelo radical superóxido ou radical hidroxila.

Tendo em vista que o cenário climático mundial apresenta um crescente aumento das áreas de risco para a produção agrícola, não serão raras as áreas que apresentem algum estresse às plantas ali cultivadas. Logo, é fundamental estudar os efeitos dos fatores causadores de estresse, visando entender o comportamento do metabolismo e o desempenho vegetal de culturas que apresentam interesses agronômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, R.; JABEEN, R. Foliar spray of mineral elements antagonistic to sodium – a technique to induce salt tolerance in plants growing under saline conditions. *Pakistan Journal Botany*, v. 37, n. 4, p. 913 – 920, 2005.

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; MATOS, A. N. B.; PAULINO, R. V.; SILVA JUNIOR, L. G. A. Reuso de efluentes da dessalinização no semiárido como meio piscícola: Aspectos limnológicos de viveiros de tilápia rosa (*Oreochromis*). In: *Simpósio Nordeste de Saneamento Ambiental*, 1, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES. 2006. p.1-4

ANA – Agência Nacional de Águas. Água: fatos e tendências. Agência Nacional de Águas: CEBDS. 2 ed. Brasília: ANA, 2009. 29p.

ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial. -- Brasília : ANA, 2012. 215p.

ANA – Agência Nacional de Águas. GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007. 60p.

ANDRADE, L. N. V.; CRUCIANI, D. E. Análise simulada na recuperação de solos afetados por sais e na resposta produtiva dos cultivos. In: *IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos. Anais... Santos: 1998.

ANUNCIÇÃO FILHO, C. J.; MONTEIRO, M. C. D.; OLIVEIRA, F. J.; TABOSA, J. N.; BASTOS, G. Q.; REIS, O. V. Produção de matéria seca e conteúdo de proteína bruta em genótipos de sorgo forrageiro. *Agropecuária Técnica*, Areia, v. 25, n. 2, 2004.

ASSIS JUNIOR, J. O. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo e em função da salinidade da água e da fração de lixiviação. 2006. 66f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará: Departamento de Engenharia Agrícola. Fortaleza, 2006.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE PRODUTORES DE SEMENTES E MUDAS-APPS. Dados estatísticos. *Evolução da Área e Produção de Sorgo no Brasil*. 2012. Disponível em: <http://www.apps.agr.br/dados_estatisticos>. Acesso em: 01 dez. 2012.

ARAÚJO, G. G. L. DE; CHAGAS, E. C. DE O.; ALVES, M. J.; PORTO, E. R.; TOSTO, M. S. L.; SILVA, A. E. V. N.; ALVES, J. N. Consumo de nutrientes em dietas com diferentes proporções do feno de erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) para ovinos. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 45, Lavras. Anais... Lavras: SBZ, 2008. 3p.

BREUSEGEM, F. V.; VRANOVA, E.; DAT, J. F.; INZE, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science*, v. 161, p. 405–414, 2001.

BUSO, W.H.D.; MORGADO, H. S.; BORGES e SILVA, L.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. *PUBVET*, Londrina, v. 5, n. 23, 2011.

CARVALHO, H. W. L.; ARAGÃO, W. M. Comportamento de progênies avançadas em Nossa Senhora da Glória, Gararu e Propriá. In: *Avaliação de cultivares de sorgo forrageiro no Estado de Sergipe*. Aracaju: EMBRAPA – CNPCO, 1989. 29p. *Boletim de Pesquisa*, 4.

CIRILO, J. A. Políticas de Água no Semiárido Brasileiro. In: GALVÃO, C.O.; CIRILO, J. A.; CABRAL, J.J.. (Org.). *Recursos Hídricos para a Convivência com o Semiárido: avanços e desafios*. Porto Alegre, RS: ABRH, 2011, v. , p. -.

COSER, C. A.; MARASCHIN, E. G. Produção e qualidade da forragem de milho comum e sorgo cv. Sordan NK sob pastejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.16, n. 3, p.397-403, 1981.

COSTA, D. M. A. Impactos do estresse salino e da cobertura morta nas características químicas do solo e no desenvolvimento do amaranto. 2007. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Centro de Tecnologia - DEQ, Natal -RN, 2007.

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.

DIAS, N. S.; COSME, C. R.; SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F. Gestão das águas residuárias provenientes da dessalinização da água salobra. In: HANS RAJ GHEYI, VITAL PEDRO DA SILVA PAZ, SALOMÃO DE SOUZA MEDEIROS, CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO, (Editores). Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e aplicações. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. p. 176-187.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. HANS RAJ GHEYI, NILDO DA SILVA DIAS, CLAUDIVAN FEITOSA DE LACERDA (Editores). Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados Fortaleza, INCT Sal, 2010. P. 129-140.

EMBRAPA Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição Set./2009 Produção de sorgo.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water at a glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty. Rome: FAO Water Development and Management Unit, 2007. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>. Acesso em 10 fev. 2013.

FREITAS, E.A.G.; SAIBRO, J.C. Digestibilidade “in vitro” e proteína de cultivares de sorgo e milho forrageiros para pastejo. Anuário Técnico do Instituto de Pesquisas Zootécnicas Francisco Osório, v.3, p.317-330, 1976.

GIRIJA, C.; SMITH, B.N.; SWAMY, P.M. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*arachis hypogaea* L.). *Environmental and Experimental Botany*, v. 47, p. 1-10, 2002.

JAIN, M.; MATHUR, G.; KOUL, S.; SARIN, N. B. Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Cell Rep*, v.20, p.463–468, 2001.

LACERDA, C. F.; MORAIS, H. M. M.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. BEZERRA, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 3, 2006, p. 258-263

LEITE, E. M. Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milho (*Pennisetum americanum* L.) como planta teste. Areia: UFPB, 2005. 62f. Dissertação Mestrado

LIMA, J. M. P.; LIRA, M. A.; LIMA, M. L.; SOBRINHO, E. E.; FREIRE, H. Sorgo: plante certo para colher muito. Revisado por Maria de Fátima Pinto Barreto. Natal- RN: EMPARN, 2010. 24p.;Il.; v. 16.

MAGALHÃES, P. C.; DURAES, F.; SCHAFFERT, R. E. Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas (MG): Embrapa, 2000, 46 p. (EMBRAPA – CNPMS (CircularTécnica, 3).

MELLO, R.; NORNBORG, J. L.; ROCHA, M. G.; DAVID, D. B. Análise produtiva e qualitativa de um híbrido de sorgo interespecífico submetido a dois cortes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 2, n. 1, p. 20-33, 2003.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2010. MPA: Brasília, 2012, 129p.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environmental and stress combination. *Trends in Plant Science*, v.11, n.1, p.15-19, 2006.

MURTA, G.; RIBEIRO, J. L.; LANDAU, E. C.; CARVALHO, K. S.; MARTINS NETTO, D. A. Expansão potencial da cultura do sorgo granífero no Brasil considerando o zoneamento de risco climático. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e sorgo, Águas de Lindóia-XX. Anais... Águas de Lindóia: 2012

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.

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. S. Conservação e uso racional de água: Integração aquicultura-agricultura. In: SALOMÃO DE SOUZA MEDEIROS, HANS RAJ GHEYI, CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO, VITAL PEDRO DA SILVA PAZ (Editores). Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 113-152.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E. Cultivo hidropônico de plântulas de sorgo sob estresse salino com sementes envelhecidas artificialmente e osmocondicionadas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41, n.1, 2011, p.10-16.

PANDHAIR, V., SEKHON, B.S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: An overview. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, New Delhi, v. 15, n. 2, p. 71-78, 2006.

PINTO, O. R. O. Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará: Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2008.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. CALHEIROS, R. O.; BRUNINI, O. Agricultura irrigada. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. v. 1, n. 1. 2008.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. DE; PAULINO, R. V.; MATOS, A. N. B. Sistema de produção usando o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, 2004, Cuiabá. Anais... Cuiabá: ABAS, 2004. 8p.

PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L. Tecnologia e inovação frente a gestão de recursos hídricos. In: SALOMÃO DE SOUZA MEDEIROS, HANS RAJ GHEYI, CARLOS DE CIRILO, J. A. ; MONTENEGRO, S.M.G.L. ; CAMPOS, J. N. B. . A Questão Da Água No Semiárido Brasileiro. In: BICUDO, C.E. de M; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B.. (Org.). Águas Do Brasil Análises Estratégicas. 1ed.São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, v. 1, p. 81-91.

RICHARDS, L.A. (ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D. C. : U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

RHOADES, J.P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. The use saline waters for crop production. Roma: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).

RODRIGUES, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor*x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo.In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTA-GENS – TEMAS EM EVIDÊNCIA, Lavras, MG. Anais...Lavras: UFLA, 2000. p.179-236.

ROTTA, M. A.; CAMPECHE, D. F. B.; PORTO, E. R.; PAULINO, R. V. Criação de tilápia em água salobra no semi-árido brasileiro: Avaliação econômica da unidade demonstrativa de São José do Seridó-RN. In: AquaCiência 2008, 2008, Maringá. Resumos... Maringá: Aquabio, 2008. CD Rom.

SAHER, S.; PIQUERAS, A.; HELLIN, E.; OLMOS, E. Hyperhydricity in micropropagated carnation shoots: the role of oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, v.120, p.152-161, 2004.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T. Desempenho produtivo de cultivares de sorgo forrageiro e granífero na Paraíba. *Tecnologia. e Ciência. Agropecuária*, v .7, n.2, p.49-55, 2013.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *Journal. Utr.*, v. 130, p. 2073-2084, 2000.

SILVA, I. N.; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semiárido*. v. 7, n. 3, p. 01-15, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N. VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. HANS RAJ GHEYI, NILDO DA SILVA DIAS, CLAUDIVAN FEITOSA DE LACERDA (Editores). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados Fortaleza, INCT Sal*, 2010. p.161-180.

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, 2007.

SOUTO, J. C. R.; ARAÚJO, G. G. L. DE; MOREIRA, J. N.; MOREIRA, J. N.; SILVA, D. S.; COSTA, R. G.; PORTO, E. R. Consumo e digestibilidade aparente de nutrientes em dietas para ovinos, com diferentes níveis de feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.). *Revista Ciência Agronômica*, v.35, n.1, p.116-122, 2004.

SOUZA FILHO, F. A. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. SALOMÃO DE SOUZA MEDEIROS, HANS RAJ GHEYI, CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO, VITAL PEDRO DA SILVA PAZ (Editores). *Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 1-25.

TABOSA, J.N.; REIS, O.V.; BRITO, A.R.M.B.; MONTEIRO, M.C.D.; SIMPLÍCIO, J.B.; OLIVEIRA, J.A.C.; SILVA, F.G.; AZEVEDO NETO, A.D.; LIRA, M. de A.; TAVARES FILHO, J.J.; NASCIMENTO, M .M .A . ; LIMA, L .E . ; CARVALHO , H .W.L . ; OLIVEIRA, L.R. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, n.2, p.38-46, 2002.

TABOSA, J. N. BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Cultivo de sorgo no semiárido brasileiro: Potencialidades e utilizações. In (Editores): Márcia do Vale Barreto Figueiredo [et al.]. – Recife-PE: Instituto Agrônômico de Pernambuco-IPA/Emater/SEAGRI-AL, 2013. p.133-162.

TSIMPHO, C. J. Efeito da salinidade da água de irrigação e de frações de lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays* L.) 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco: Departamento de Tecnologia Rural. Recife, 2011.

VRANOVA, E.; INZE, D.; BREUSEGEM, F. V. Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, n. 372, p. 1227–1236, 2002.

WILADINO, L. G.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer*, Goiânia, v.6, n.11, 2010.

**CAPÍTULO 1: Cultivo de variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino
da piscicultura em condições semiáridas**

Cultivo de variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas

Resumo. O semiárido brasileiro apresenta uma alta variabilidade climática e grande escassez hídrica, com isto vê-se a necessidade da implantação de políticas que visem o uso múltiplo das águas, bem como técnicas de manejo que visem a utilização de água de qualidade inferior. Logo, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura em variedades de sorgo forrageiro em condições semiáridas. O experimento foi implantado no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na Região do Submédio São Francisco, no período de fevereiro a julho de 2013. Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro blocos, em parcelas subdivididas, composto por três genótipos de sorgo forrageiro (Volumax, F305 e Sudão) e quatro frações de lixiviação - FL (0; 5; 10 e 15%), no fatorial 3x4, com uso de efluente salino piscicultura. As variáveis avaliadas foram altura e diâmetro do colmo; largura, comprimento e número de folhas; produtividade de massa fresca e seca, teor relativo de água e eficiência do uso da água. Com os resultados obtidos pode-se verificar que a irrigação com efluente salino tem relação direta com os parâmetros biométricos e produtivos da cultura, sendo que a utilização de frações de lixiviação promoveu um aumento percentual de até 25% na produtividade de sorgo forrageiro quando irrigado com 15% de FL, sendo a variedade Volumax a mais sensível a salinidade.

Palavras-chave: Fração de lixiviação, salinidade, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with aquaculture effluent saline in semiarid conditions

Abstract: The Brazilian semiarid presents a great climate variability and water shortages. Because of this, it is necessary to implement policy that aimed the multiple uses of water as well as management techniques which permit the use of water with low quality. This study aimed to evaluate the cultivation of forage sorghum varieties irrigated with aquaculture effluent in semiarid conditions. The experiment located in Caating experimental field, from

Embrapa Semiárido, in Petrolina, locality of the semiarid of the State of Pernambuco, Northeast, in the period between February and July 2013. It was adopted randomized block design disposed in split-plots consisting of four blocks, different forage sorghum genotype saline tolerant and four leaching fractions – LF (0; 5; 10; and 15%), 3x4 factorial, with saline effluent from aquaculture. The parameters evaluated were: biometrics (height and stem diameter; width, length, number of leaves and leaf area); productivity of fresh and dry mass; water content and water efficiency. It was observed that irrigation with saline effluent had direct relation with biometric and productivity parameters. In addition, the irrigation with 15% of leaching fraction (LF) promoted an increase of 25% of forage sorghum productivity, with a variety Volumax more sensitive to salinity.

Keywords: Leaching fraction, salinity, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Introdução

O semiárido brasileiro apresenta uma alta variabilidade climática e grande escassez hídrica. Com uma pequena quantidade de água disponível, a região Nordeste enfrenta problemas diferentes que exigem soluções específicas (SOUZA FILHO, 2011). Em consequência da seca prolongada e da irregularidade dos períodos chuvosos nos últimos anos, pecuaristas e produtores de leite vêm encontrando grandes dificuldades para manter a oferta de alimento dos rebanhos (MONTEIRO et al., 2004).

Uma das estratégias para aumentar a eficiência do uso da água em regiões semiáridas é o uso múltiplo das águas, o qual se baseia na utilização sustentável dos recursos hídricos. Uma alternativa de subsistência de pequenos pecuaristas nestas regiões, onde a única fonte de recursos hídricos destinados a irrigação é o lençol freático com água salina, é a utilização de sistemas integrados de agricultura com aquicultura, nos quais a água salina utilizada na produção de pescados para alimentação familiar e comércio local é utilizada para irrigar plantas forrageiras destinadas à alimentação animal (FAO, 2007).

Diversas culturas podem ter seu cultivo integrado com a piscicultura. Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos principalmente com culturas olerícolas (CASTRO et al., 2002; PEREIRA et al., 2003; NOGUEIRA FILHO et al., 2003), no entanto, há também um grande

interesse na utilização desses efluentes na produção de forrageiras (BARROSO et al., 2006; CARVALHO JUNIOR et al., 2010; GURGEL et al., 2012).

O sorgo se destaca por ser uma planta típica de clima quente, de características xerófilas, com baixa exigência de fertilidade do solo e tolerância a estresses abióticos, tais como deficiência hídrica, salinidade e encharcamento (GOMES et al., 2006).

O sorgo forrageiro possui grande potencial produtivo quando cultivado com águas de qualidade inferior, sendo considerado moderadamente tolerante à salinidade, podendo ser cultivado com águas com condutividade elétrica inferior a 4 dS m⁻¹ sem que haja redução significativa na produção (DIAS et al., 2010).

Nos últimos anos o cultivo de sorgo forrageiro vem ganhando grande destaque em regiões onde os períodos de estiagem ocorrem com frequência, devido à sua facilidade de cultivo, rapidez no estabelecimento e no crescimento, além de um bom valor nutricional e alta produção de forragem, se tornando assim uma das opções mais viáveis para atender a demanda de forragens destas regiões (MELLO et al., 2003; MURTA et al., 2012; RODRIGUES, 2000).

Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura em variedades de sorgo forrageiro em condições semiáridas.

Material e Métodos

O experimento foi implantado no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio São Francisco (latitude 9° 8' 8,9'' S, longitude 40° 18' 33,6'' O, altitude 373 m), no período de fevereiro a julho de 2013. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) textura média, apresentando relevo plano. O clima da região é classificado como semiárido, do tipo BSw^h segundo a classificação climática de Köppen. As chuvas se concentram nos meses de novembro a abril, com precipitação média anual em torno de 500 mm irregularmente distribuída. A umidade relativa média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio.

Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro blocos, em parcelas subdivididas, composto por três variedades de sorgo forrageiro e quatro frações de lixiviação (FL): 0; 5; 10 e 15%, em esquema fatorial 3x4, com uso de água salina provenientes dos rejeitos da piscicultura, tendo as frações de lixiviação constituindo as parcelas e as variedades as subparcelas.

Cada unidade experimental (subparcela) foi formada por cinco fileiras de cinco metros de comprimento, perfazendo uma área de 5 fileiras x 5 m x 050 m = 12,5 m² (Figura 1), sendo fixado 10 plantas por metro linear, considerando-se úteis as plantas das fileiras centrais, eliminando os metros iniciais e finais de cada fileira.

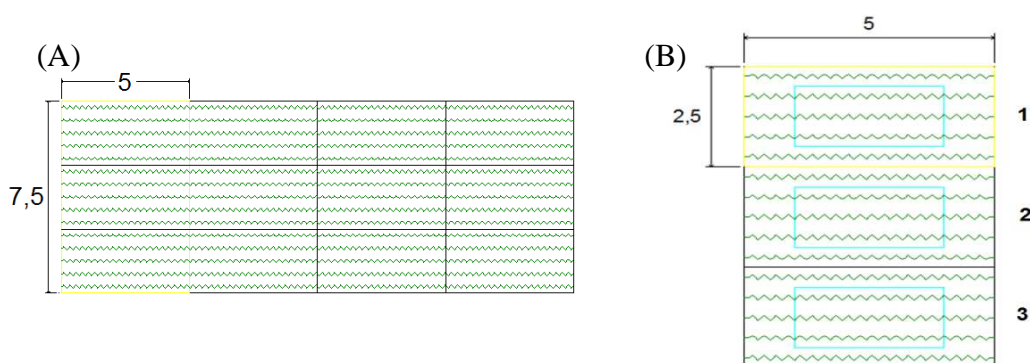


Figura 1. Croqui do experimento no campo, sendo (A) – Bloco e (B) – Parcela.

As variedades de sorgo adotadas foram Volumax, F305 e Sudão. As sementes foram fornecidas pela Embrapa Milho e Sorgo e pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA.

A área experimental foi preparada conforme necessidades da cultura, realizando-se aração e gradagem. A adubação de fundação foi realizada 2 dias antes da semeadura com base na análise de solo previamente efetuada (Tabela 1), sendo aplicado 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia, 60 kg ha⁻¹ de fósforo na formulação super fosfato simples e 20 kg ha⁻¹ de potássio na forma de cloreto de potássio. Aos 30 dias após a semeadura foi realizada um adubação nitrogenada de cobertura com 30 kg ha⁻¹. A semeadura foi realizada no mês de abril/2013, tendo a emergência ocorrido sete dias após o plantio (DAP).

Tabela 1. Granulometria, parâmetros físicos e análise química do solo.

Camada (cm)	C.E dS cm ⁻¹	pH	M.O. g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								V %
					K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	
0 - 10	4,96	5,5	7,7	15,65	0,65	0,80	2,8	1,50	0,00	2,1	5,8	7,8	73,4
10 - 20	1,99	5,7	5,7	14,25	0,55	0,65	1,9	1,30	0,00	2,7	4,4	7,1	61,8
20 - 45	2,91	7,4	6,3	3,60	2,05	1,50	1,8	1,40	0,00	3,7	6,8	10,4	64,7
45 - 75	6,52	7,3	2,8	1,78	0,22	2,90	3,0	2,40	0,00	3,4	8,5	11,9	71,7
75 - 150	14,44	5,2	1,4	0,96	0,09	4,40	4,3	5,20	0,00	2,9	14,0	16,9	82,9
150 - 200	12,53	5,9	0,9	0,46	0,07	3,70	3,2	3,80	0,00	2,9	10,8	13,7	78,9

Camada (cm)	Densidade (kg dm ⁻³)		Porosidade Total (%)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	Solo	Partícula		Areia	Silte	Argila
0 - 10	1,46	2,59	43,86	729,4	182,9	87,7
10 - 20	1,46	2,51	41,74	789,8	116,9	93,3
20 - 45	1,37	2,52	45,58	613,2	178,1	208,7
45 - 75	1,32	2,49	47,10	465,8	179,9	354,3
75 - 150	1,35	2,54	47,11	476,5	192,5	331,1
150 - 200	1,38	2,57	46,40	500,8	244,8	254,5

CE= condutividade elétrica do extrato de saturação; M.O.= matéria orgânica; P= fósforo disponível extraído por Mehlich⁻¹; Ca= cálcio trocável; Mg= magnésio trocável; Na= sódio trocável; K= potássio trocável; Al: acidez trocável; CTC= capacidade de troca de cátions à pH 7,0; V=saturação por bases.

Para acompanhar a umidade no perfil do solo foram instaladas sondas de PR2, as quais se baseiam no princípio da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR). As sondas foram dispostas de forma que representasse todas as frações de lixiviação, sendo instaladas sempre nas fileiras de sorgo, ao “pé” da planta. As leituras de umidades foram realizadas cerca de duas horas após as irrigações.

A irrigação era realizada diariamente por gotejamento superficial através de tubo gotejador com emissores com vazão de 1,6 L h⁻¹, diâmetro nominal (DN) de 16mm, espaçados 0,30 m entre si.

O sistema era ligado a dois tanques de piscicultura com capacidade para 5 m³ de água, contento tilápia preta a uma densidade populacional de 40 peixes por metro cúbico. No manejo dos tanques, 50% da água era trocada diariamente e bombeada para um terceiro tanque de armazenamento, a qual era utilizada na irrigação. Os tanques eram abastecidos com água salina proveniente de um poço artesiano a 900 m da área experimental. A condutividade elétrica da água do poço foi monitorada semanalmente com o auxílio de um condutivímetro digital portátil.

As características químicas da água de irrigação foram determinadas em avaliações semanais ante e durante o experimento, apresentando médias conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas da água de irrigação proveniente da piscicultura.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	pH	C.E. -25°C	Dureza CaCO ₃	R.A.S.
mmolc L ⁻¹					dS m ⁻¹		mg L ⁻¹	
12,6	7,7	7,2	0,34	35,2	8,19	2,57	50,75	2,26

CE= condutividade elétrica; Ca= cálcio; Mg= magnésio; Na= sódio; K= potássio; Cl= cloreto; RAS= relação de adsorção de sódio.

A lâmina de água aplicada por irrigação foi calculada de acordo com a evapotranspiração da cultura (ETo*Kc), medida no período entre duas irrigações, de acordo com a eficiência de aplicação de água do sistema e as frações de lixiviação testadas, conforme a Equação. 1.

$$Li = \frac{(ETo * Kc * Kl) - P}{Ef} * (1 + FL) \quad (1)$$

Em que:

Li – Lâmina de irrigação, mm;

ETo – Evapotranspiração medida no período, mm;

Kc – Coeficiente de cultivo da cultura (ALLEN et al., 1998);

Kl – Coeficiente de localização (KELLER & BLIESNER, 1990);

P – Precipitação medida no período, mm;

Ef – Eficiência do sistema de irrigação, 0,9;

FL – Fração de lixiviação necessária para a manutenção do equilíbrio salino no perfil de solo, decimal.

Os dados meteorológicos foram coletados numa estação automática instalada no campo experimental.

Os tratos culturais constituíram de um capina manual aos 30 DAP e aplicação preventiva de inseticida aos 40 e 60 DAP.

A colheita foi realizada no mês de julho quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto pastoso a farináceo. Na colheita, as plantas da parcela útil foram cortadas a uma altura de 10 cm do solo, onde foram avaliados os seguintes parâmetros: peso

de massa fresca, número de folhas, comprimento e largura da folha +3 (régua e trena); altura da planta (trena), e diâmetro do colmo. Posteriormente o material foi colocado em estufa para secar a 60°C por 72 horas para determinação da massa seca.

A eficiência de utilização da água foi determinada a partir da relação entre a produtividade de massa seca e o total hídrico disponível para as planta (irrigação+precipitação pluviométrica) (SILVA et al., 2013) conforme Equação 2.

$$EUA = \frac{PMS}{THD} \quad (2)$$

Em que:

EUA - eficiência de utilização da água, $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$

PMS – produtividade de massa seca total, kg ha^{-1}

THD - consumo hídrico total, mm.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa Sisvar 5.0. Para as situações em que houve interação significativa entre variedades e frações de lixiviação 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 as frações de lixiviação foram avaliados modelos de regressão de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 1% ou 5% de probabilidade. O Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi adotado para a comparação entre as variedades e os casos de regressões não significativas ($p>0,05$).

Resultados e discussão

As informações meteorológicas obtidas durante o período experimental são apresentadas na Figura 2. A umidade relativa do ar máxima registrada foi de 98,7 tendo uma média de 63,86 e mínimas em torno de 23,66 %. Pode-se observar que, na maior parte do ciclo, as temperaturas máximas eram superiores a 30 graus, com dias mais quente chegando a 34°C. A temperatura media durante a condução do experimento foi de 25,46°C. As mínimas registradas se concentraram em torno de 20,6°C, havendo dias frios com registros abaixo de 16,4°C (Figura 2).

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar corroboram com Oliveira & Braga (2011), que registraram temperaturas médias de 26,5°C, variando entre 21 e 32°C, e umidade relativa média em torno de 67,8%.

A evapotranspiração máxima observada foi de 4,56, tendo uma média de 3,6 mm dia⁻¹. Os principais eventos de precipitação se concentraram nos dez primeiros dias após o plantio e após os 74 DAP, tendo ao final do ciclo um registro total de 32,7 mm. A condutividade elétrica da água de irrigação apresentou comportamento estável, apresentando uma média de 2,56 dS m⁻¹ (Figura 2).

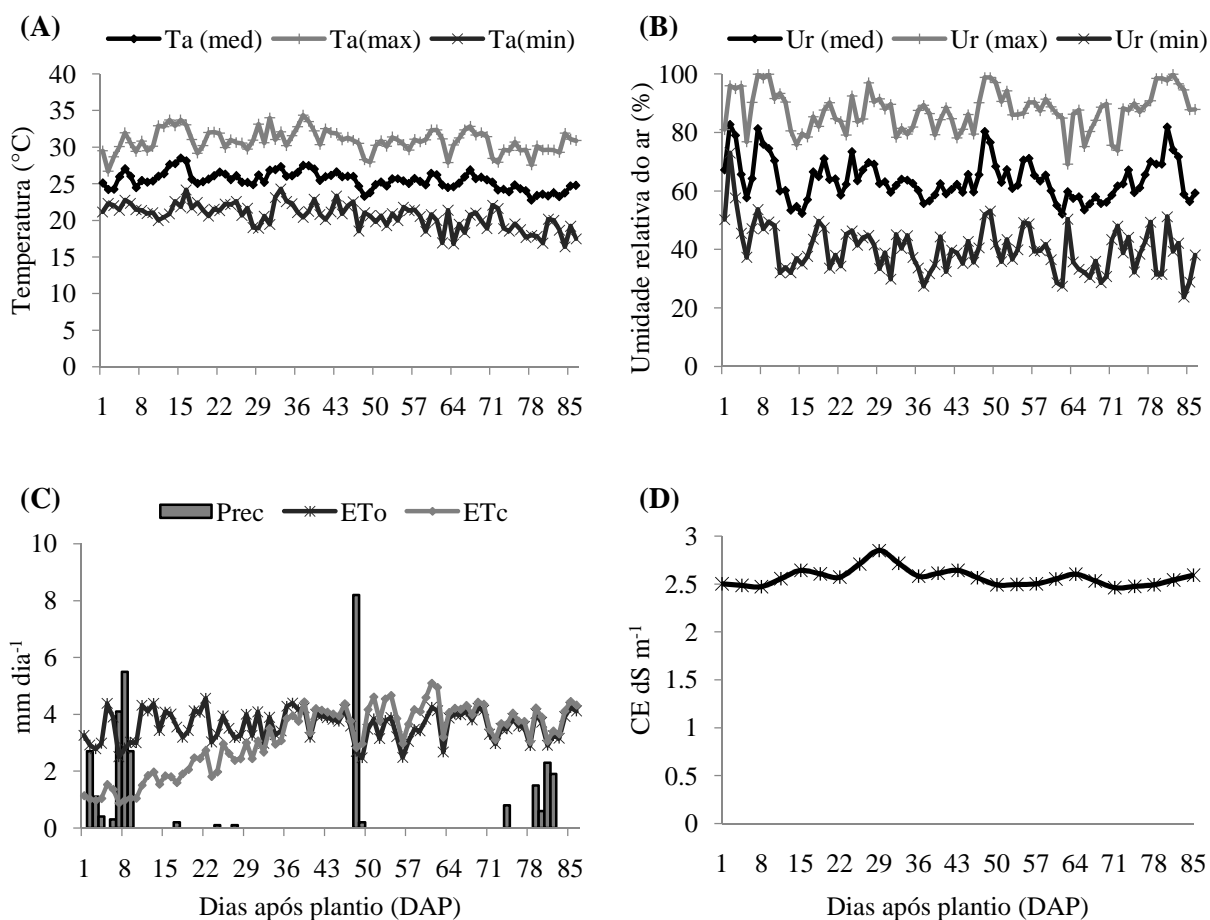


Figura 2. Dados de Temperatura do ar (A); umidade relativa do ar – (B); precipitação, evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) – (C), e condutividade elétrica da água de irrigação – (D).

Pode-se observar que as frações de lixiviação 5, 10 e 15% proporcionaram umidades do solo acima da capacidade de campo (CC) nas camadas superficiais (Figura 3), promovendo assim a lixiviação dos sais presentes no perfil do solo, já que o solo retém água somente até

atingir a CC, sendo drenada toda a água que estiver acima deste ponto (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1931).

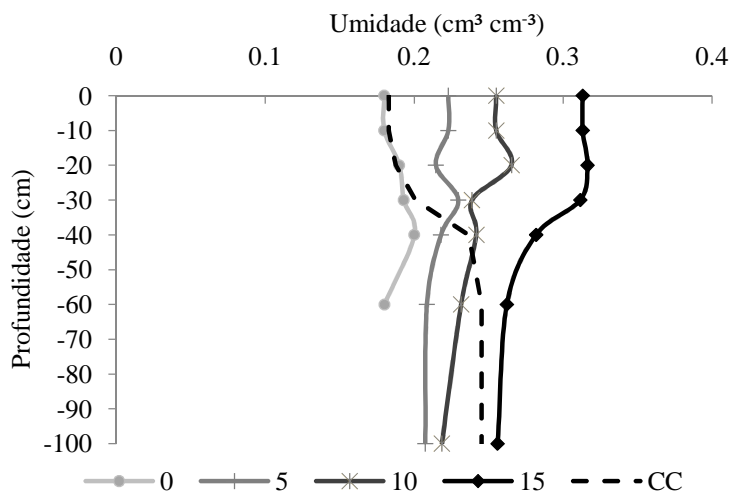


Figura 3. Distribuição da umidade no perfil de um solo cultivado com variedades de sorgo forrageiro irrigados com água salina proveniente da piscicultura submetido a frações de lixiviação de 0; 5; 10 e 15 %, sendo CC a umidade da capacidade de campo do mesmo.

As parcelas que foram submetidas a 5, 10 e 15% de lixiviação apresentaram cerca de 2; 5 e 11% de água a mais que a CC na camada de 0-40 do solo estudado (Figura 3), a qual apresenta grande importância para a cultura já que cerca de 80 % do sistema radicular efetivo do sorgo se encontra na camada de 0-30cm de profundidade (MAGALHÃES et al., 2000).

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise de variância das variáveis biométricas avaliadas. Pode-se verificar que não houve interação significativa entre as frações de lixiviação e as variedades de sorgo forrageiro para os parâmetros avaliados. Apenas as variáveis altura e diâmetro do colmo apresentaram diferença significativa para o fator fração de lixiviação. Quando comparadas as variedades, verificou-se que somente o diâmetro do colmo não apresentou diferença significativa, as demais variáveis apresentaram diferenças a 1% de probabilidade.

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) entre frações de lixiviação, variedades de sorgo forrageiro e interação frações de lixiviação X variedades para as diferentes variáveis biométricas.

Fatores de Variação	Quadrado Médio					
	ALT	Ø	NF	Folha +3 (cm)		AFT
	(cm)	(mm)		Comp.	Larg.	(cm ²)
Frações de Lixiviação	1840,33**	17,26**	0,68 ^{ns}	125,24 ^{ns}	0,73 ^{ns}	236386,5 ^{ns}
Resíduo 1	66,09	3,28	0,98	90,08	0,23	161551,99
Variedade	1441,02**	2,40 ^{ns}	23,22**	684,67**	1,47**	594755,26**
Frações de lixiviaçãoXVariedades	284,38 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,77 ^{ns}	35,36 ^{ns}	0,09 ^{ns}	34257,56 ^{ns}
Resíduo 2	183,16	0,99	0,59	45,59	0,11	75410,42
CV. 1 (%)	5,41	13,51	12,74	22,66	11,38	41,9
CV. 2 (%)	9	7,42	9,93	16,12	8,18	28,64

CV.= Coeficiente de variação; **= p<0,01 e ns= não significativo. ALT – Altura da planta; Ø – diâmetro do colmo; NF – número de folhas; Comp. – comprimento da folha; Larg. – largura da folha; AFT – área foliar total.

Pode-se observar na Tabela 4 que as variedades Sudão e F305 apresentaram plantas mais altas com uma média de 155,8 cm, diferindo significativamente da Volumax que obteve plantas mais baixas, com 139,4 cm. Tais resultados corroboram com Avelino et al. (2011) que, ao avaliar o comportamento agrônomico da variedade Volumax em diferentes espaçamentos, observou plantas mais baixas com alturas medias variando de 108 a 119,92 cm. Já Botelho et al. (2010) observou médias de altura mais elevadas, chegando a 235 cm.

Não houve diferença significativa para o diâmetro do colmo entre as variedades estudadas, as quais apresentaram um diâmetro médio de 13,4 mm (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação entre variedades de sorgo forrageiro em relação às variáveis de crescimento: altura e diâmetro do colmo, número de folhas, comprimento e largura da folha +3, e área foliar total.

Variedade	ALT	Ø	NF	Folha +3 (cm)		AFT
	(cm)	(mm)		Comp.	Larg.	(cm ²)
Volumax	139,4 b	13,1 a	7,2 b	36,9 b	4,2 a	770,5 b
F305	155,8 a	13,8 a	9,2 a	39,4 b	4,5 a	1155,8 a
Sudão	155,8 a	13,3 a	7,0 b	49,3 a	3,9 b	950,3 ab

ALT – Altura da planta; Ø – diâmetro do colmo; NF – número de folhas; Comp. – comprimento da folha; Larg. – largura da folha; AFT – área foliar total. Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de TUKEY à 5% de probabilidade.

Santos & Grangeiro (2013) ao avaliar o desempenho produtivo de variedades forrageiras e graníferas irrigadas com água não salina no agreste paraibano observou médias de altura variando entre 129 e 298 cm para a variedade Sudão, com uma média de 202 cm. Médias inferiores foram observadas no presente trabalho, o qual utilizou água salina com condutividade em torno de 2,5 dS m⁻¹.

A altura de plantas é um parâmetro altamente influenciado pela salinidade da água de irrigação, em trabalhos similares foram observadas reduções de 6 a 72% na altura das plantas de sorgo quando submetidas a salinidade (LACERDA et al., 2001; MIRANDA et al., 2008; VIEIRA et al., 2005).

Quanto ao número de folhas (NF) verifica-se que a F305 apresentou média significativamente maior que as demais, com 9,2 folhas. Quanto à biometria das folhas, o sorgo Sudão apresentou folhas mais compridas, no entanto mais estreitas, com uma média de 49,29 e 3,89 cm, respectivamente (Tabela 4).

Quando comparado as frações de lixiviação, pode-se observar que não houve diferença nas características biométricas das folhas, no entanto, frações de lixiviação maiores proporcionaram folhas com maiores dimensões, e conseqüentemente, maiores valores de área foliar.

As frações de lixiviação influenciaram significativamente na altura e diâmetro do colmo das plantas de sorgo forrageiro, apresentando comportamento diretamente proporcional com o aumento das frações aplicadas. Tal comportamento foi representado por equações de primeiro grau (Figura 4).

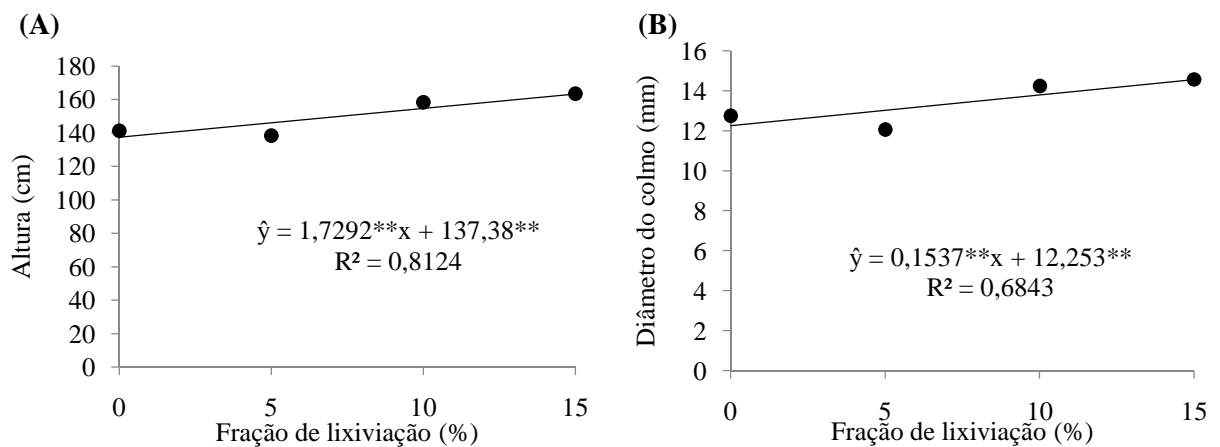


Figura 4. Altura (A) e diâmetro do colmo (B) de plantas de sorgo forrageiro irrigados com água proveniente da piscicultura submetido a diferentes frações de lixiviação.

Os resultados da análise de variância para as variáveis produtivas demonstram efeito significativo para massa fresca (MF) e seca (MS) quando submetidas a frações de lixiviação e para as variedades estudadas. Para o teor relativo de água foram verificados efeitos significativos apenas entre as variedades estudadas. Não foi verificada significância para a variável eficiência do uso da água em nenhum dos fatores avaliados. A interação entre os fatores não apresentou significância em nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância (ANOVA) entre frações de lixiviação, variedades de sorgo forrageiro e interação fração de lixiviação X variedades para as variáveis produtividade de matéria fresca e seca, teor relativo de água e eficiência do uso da água.

Fatores de Variação	Quadrado Médio			
	Produtividade (t ha ⁻¹)		TRA	EUA
	MF	MS	(%)	(kgMS ha ⁻¹ mm ⁻¹)
Frações de Lixiviação	71,59*	7,82**	21,55 ^{ns}	14,91 ^{ns}
Resíduo 1	11,38	0,75	15,78	9,35
Variedades	103,52**	15,74**	144,73**	70,27 ^{ns}
Frações de lixiviação X Variedades	25,78 ^{ns}	2,35 ^{ns}	19,06 ^{ns}	23,08 ^{ns}
Resíduo 2	11,13	1,81	14,07	22,22
CV. 1 (%)	13,32	10,89	5,83	10,85
CV. 2 (%)	13,18	16,84	5,51	16,72

CV.=Coeficiente de variação; **= p<0,01; *= p<0,05 e ns= não significativo. MF – massa fresca; MS – massa seca; TRA – teor relativo de água; EUA – eficiência do uso da água.

A variedade Sudão apresentou maiores valores de produtividade de massa fresca, seguida da F305 e Volumax. Quando comparados os valores de massa seca, observa-se que a variedade F305 se destaca com 8,97 t ha⁻¹, seguida da Sudão com 8,01 t ha⁻¹, diferindo significativamente da Volumax, a qual apresentou baixa produtividade com 6,99 t ha⁻¹ (Tabela 6). Resultados inferiores aos encontrados por Franco et al. (2012), Pacheco et al. (2004) e Gomes et al. (2006), que ao avaliarem o comportamento agrônomico da variedade Volumax em diferentes ambientes e irrigados com água não salina, observaram valores médios de produtividade variando entre 8,2 a 10,54 t ha⁻¹ de massa seca.

Tabela 6. Comparação entre variedades de sorgo forrageiro em relação às variáveis: produtividade, teor relativo de água e eficiência do uso da água.

Variedade	Produtividade (t ha ⁻¹)		TRA	EUA
	MF	MS	(%)	(kgMS ha ⁻¹ mm ⁻¹)
Volumax	22,71 b	6,99 b	68,68 a	25,78 a
F305	25,45 ab	8,97 a	64,88 b	29,27 a
Sudão	27,79 a	8,01 ab	70,82 a	29,53 a

MF – massa fresca; MS – massa seca; TRA – teor relativo de água; EUA – eficiência do uso da água. Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de TUKEY à 5% de probabilidade.

Morais et al. (2013) ao avaliar parâmetros produtivos e a composição química de variedades de sorgo e milho para silagem, verificaram uma produtividade de matéria seca de 9,77 t ha⁻¹ para a variedade F305. Santos et al. (2013) ao avaliar parâmetros produtivos de cinco genótipos de sorgo forrageiro para a região semiárida brasileira, irrigados com água não salina, verificaram produtividades de matéria seca no intervalo de 17,1 a 25,2 t ha⁻¹.

Valores inferiores de produtividade de massa seca já eram esperados devido a irrigação contínua com água salina. Aquino et al. (2007) verificou redução de 29 e 40% na produção de massa seca em dois genótipos de sorgo forrageiro com o aumento da salinidade. Feijão et al. (2011) observou valores acima de 60% de redução na produção de matéria seca em plantas de sorgo Sudão submetidas a um estresse salino de 100mM com NaCl. Coelho (2013) ao avaliar genótipos de sorgo forrageiro quanto a tolerância à salinidade, observou redução linear com aumento da salinidade na produção de biomassa seca, atingindo 50% para valores de 8,0 dS m⁻¹. Coelho et al. (2014) ao avaliar a germinação e crescimento inicial de seis variedades de sorgo forrageiro, verificou redução significativa no acúmulo de massa fresca e seca com o aumento da salinidade.

A variedade Sudão apresentou maior teor relativo de água com uma média de 70,82%, seguida da Volumax e da F305, com 68,68 e 64,88% respectivamente (Tabela 6). Valores ligeiramente inferiores aos encontrados por Coelho (2013) ao avaliar genótipos de sorgo forrageiro em condições salinas.

Pode-se verificar que o aumento da fração de lixiviação proporcionou aumento na produtividade de massa fresca e seca, estando de acordo com diversos trabalhos (ASSIS JUNIOR et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2005; SANTOS et al., 2012). Não foram observadas diferenças significativas para o teor relativo de água, bem como para a eficiência do uso da água, os quais apresentaram em média 68,13 % e 28,19 kgMS ha⁻¹ mm⁻¹.

A produtividade de massa fresca apresentou comportamento crescente com o aumento da fração de lixiviação com um máximo de 27, 51 t ha⁻¹ quando se irrigou com 15% de lixiviação, bem como a produtividade de massa seca com 9,09 t ha⁻¹ para a mesma fração (Figura 5).

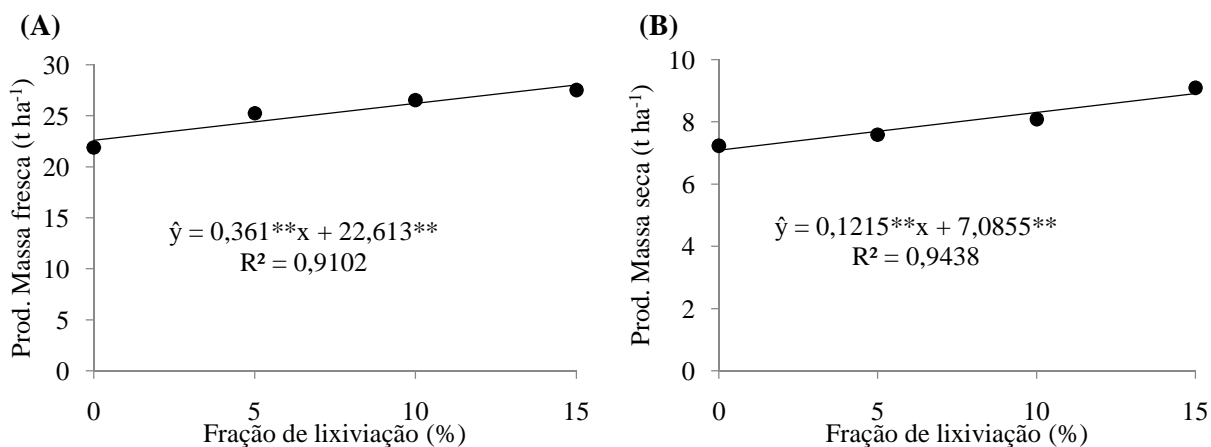


Figura 5. Produtividade de massa fresca (A) e seca (B) de sorgo forrageiro irrigados com água proveniente da piscicultura submetido a diferentes frações de lixiviação.

Pode-se observar um aumento de cerca de 25% na produtividade de massa fresca e seca de sorgo forrageiro quando irrigados com uma lâmina de 15% de lixiviação (Figura 6). A técnica aplicada, de forma geral, teve efeito direto no crescimento da cultura, corroborando com Carvalho et al. (2012), o qual afirma que a adoção do manejo com frações de lixiviação deve ser imprescindível na irrigação com águas de elevada concentração salina.

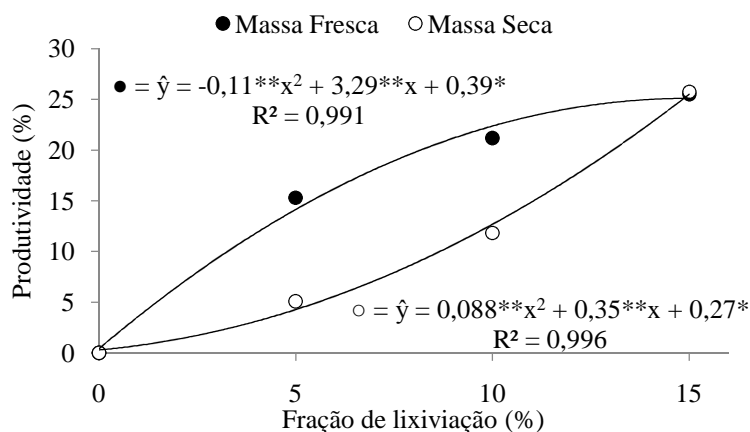


Figura 6. Aumento percentual da produtividade (t ha⁻¹) de massa fresca e seca em plantas de sorgo forrageiro irrigados com água proveniente da piscicultura submetido a diferentes frações de lixiviação.

Conclusões

A variedade Volumax mostrou-se mais sensível a salinidade quando comparada com as variedades F305 e Sudão, apresentando menor crescimento da parte aérea, bem como menor produtividade quando irrigada com água salina com condutividade média de 2,5 dS m⁻¹.

A aplicação de frações de lixiviação apresenta efeito direto no desenvolvimento do sorgo forrageiro, apresentando aumento significativo na produtividade.

Referências bibliográficas

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, FAO, Rome

AQUINO, A.J.S.; LACERDA, C.F.; GOMES-FILHO, E. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.31, n.5, p.961-971, 2007.

ASSIS JUNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, C. F.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de Irrigação. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.27, n.3, p.702-713, 2007.

AVELINO, P. M.; NEIVA, J. N. M.; ARAUJO, V. L.; ALEXANDRINO, E.; SANTOS, A. C.; RESTLE, J. Características agronômicas e estruturais de híbridos de sorgo em função de diferentes densidades de plantio. *Rev. Ciênc. Agron.* [online]. vol.42, n.2, pp. 534-541, 2011.

BARROSO, D. D.; ARAÚJO, G. G. L. de; PORTO, E. R.; PORTO, F. R. Produtividade e valor nutritivo das frações forrageiras da erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com quatro

diferentes volumes de efluentes da criação de tilápia em água salobra. *Agropecuária Técnica*, v.27, n.1, p.43–48, 2006

BOTELHO, P. R. F.; PIRES, D. A. A.; SALES, E. C. J.; ROCHA JUNIOR, V. R.; REIS, S. T. Avaliação de genótipos de sorgo em primeiro corte e rebrota para produção de silagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, n.3, p. 287-297, 2010

CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M. H. V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p.368–374, 2012.

CARVALHO JUNIOR, S. B. de; FURTADO, D. A.; SILVA, V. R. da; DANTAS, R. T.; LIMA, I. S. P.; LIMA, V. L. A. Produção e avaliação bromatológica de espécies forrageiras irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.10, p. 1045-1051, 2010.

CASTRO, R. S. de; AZEVEDO, C. B.; NUNES, G. H. de S.; CARNEIRO, C. R. Utilização de efluente de viveiro de peixes para a irrigação do tomate cereja cultivado em diferentes substratos. *Horticultura Brasileira*, v.20, n.2, 2002.

COELHO, D. S. Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológicos de genótipos de sorgo forrageiro. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2013.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; MENDES, A. M. S.; DANTAS, B. F.; RODRIGUES, J. A. S.; SOUZA, M. A. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.18, n.1, p.25-30, 2014.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. HANS RAJ GHEYI, NILDO DA SILVA DIAS, CLAUDIVAN FEITOSA DE LACERDA (Editores). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados* Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 129-140.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water at a glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty. Rome: FAO Water Development and Management Unit, 2007. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>. Acesso em 10 fev. 2013.

FEIJÃO, A. R.; SILVA, J. C. B.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n.3, p. 675-683, 2011.

FRANCO, F. O.; SANTOS, F. E.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; PELEGRINI, D. F.; REZENDE, W. S.; AGOSTINHO, F. B.; CABRAL, D. A. Avaliação de Cultivares de Sorgo Forrageiro em Duas Regiões de Minas Gerais. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2012, Águas de Lindóia-SP. Anais... Águas de Lindóia, 2012.

GOMES, S. O.; PITOMBEIRA, J. B.; NEIVA, J. N. M.; CÂNDIDO, M. J. D. Comportamento agrônomico e composição químico-bromatológico de cultivares de sorgo forrageiro no Estado do Ceará. Revista Ciência Agronômica, v. 37, n. 02, p. 221-227, 2006.

GURGEL, G. C. S.; SANTOS, W. O.; BEZERRA, F. G.; BARRETO, H. B. F.; LIMA, C. B. Produção de milho verde cultivado irrigado por gotejamento com água do efluente de aquicultura. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 771, 2012

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinold, New York, 1990. 652p.

LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.13, n.3, p.270-284, 2001.

MELLO, R.; NORBERG, J. L.; ROCHA, M. G.; DAVID, D. B. Análise produtiva e qualitativa de um híbrido de sorgo interespecífico submetido a dois cortes. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 2, n. 1, p. 20-33, 2003.

MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M., FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. Revista Caatinga, v.21, n.5, p.18-25, 2008.

MONTEIRO, M. C. D.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J.; TABOSA, J. N.; OLIVEIRA, F. J.; REIS, O. V.; BASTOS, G. Q. Avaliação do desempenho de sorgo forrageiro para o semi-árido de Pernambuco. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.3, n.1, p.52-61, 2004.

MORAES, S. D.; JOBIM, C. C.; SILVA, M. S.; MARQUARDT, F. I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.14, n.4, p.624-634, 2013.

MURTA, G.; RIBEIRO, J. L.; LANDAU, E. C.; CARVALHO, K. S.; MARTINS NETTO, D. A. Expansão potencial da cultura do sorgo granífero no Brasil considerando o zoneamento de risco climático. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e sorgo, Águas de Lindóia-XX. Anais... Águas de Lindóia: 2012.

NOGUEIRA FILHO, H.; SANTOS, O.; BORCIONI, E.; SINCHAK, S.; PUNTEL, R. Aquaponia: interação entre alface hidropônica e criação superintensiva de tilápias. Horticultura Brasileira, v.21, n.2, 2003.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B. Florescimento e acamamento de cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 23p

OLIVEIRA, F. G.; FERREIRA, P. A.; SANTOS, D. B.; GARCIA, G. O. Índice de estresse hídrico diário do feijoeiro irrigado com água salina. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, Suplemento, p.6-10, 2005.

PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L.; RODRIGUES, J. A. S. Avaliação de Cultivares de Sorgo Forrageiro do Ensaio Nacional nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. In: XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2004, Cuiabá-MT. Anais... Cuiabá, 2004.

PEREIRA, E. W. L.; AZEVEDO, C. M. S. B. ; LIBERALINO FILHO, J.; DUDA, G.P. Utilização de efluente de viveiro de peixes na irrigação de alface cultivada em diferentes tipos de substratos. *Caatinga*, v.16, n. ½, p.57-62, 2003.

RODRIGUES, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTA-GENS – TEMAS EM EVIDÊNCIA, Lavras, MG. Anais...Lavras: UFLA, 2000. p.179-236.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T. Desempenho produtivo de cultivares de sorgo forrageiro e granífero na Paraíba. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v .7, n.2, p.49-55, 2013.

SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; RODRIGUES, J. A. S.; COSTA, C. T. F.; OLIVEIRA, G. F. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.35, n. 1, p. 13-19, 2013.

SANTOS, D. B.; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. *Idesia*, vol.30, n.2, p. 69-74. 2012.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; KLAR, A. E. Eficiência de uso da água em cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões da água no solo. *Water Resources and Irrigation Management*. v.2, n.1, p.27-36, 2013

SOUZA FILHO, F. A. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. SALOMÃO DE SOUZA MEDEIROS, HANS RAJ GHEYI, CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO, VITAL PEDRO DA SILVA PAZ (Editores).

Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 1-25.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentages of soils. *Science*, v.68, p.75-94, 1949.

VIEIRA, M.R.; LACERDA, C.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; CARVALHO, P.L.; COSTA, R.N.T.; TABOSA, J.N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigado com águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.42-46, 2005.

CAPÍTULO 2: Metabolismo enzimático em variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas

Metabolismo enzimático em variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas

Resumo. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a resposta do sistema enzimático antioxidativo de variedades de sorgo forrageiro submetidos a irrigação com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas. O experimento foi realizado no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio São Francisco. Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, composto por três variedades de sorgo forrageiro (Volumax, F305 e Sudão) e quatro frações de lixiviação (FL): 0; 5; 10 e 15%, em esquema fatorial 3x4, com uso de efluente salino da piscicultura, com quatro repetições. O experimento foi plantado em padrão comercial no mês de abril de 2013 e todos os tratos culturais foram realizados conforme indicados para cultura. A coleta do material vegetal foi realizada no mês de julho quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto pastoso a farináceo. Na ocasião foram coletadas amostras do limbo foliar da terceira folha completamente expandida, as quais foram imersas em nitrogênio líquido (NL₂) para congelamento rápido, e armazenadas em freezer a -20°C até o momento das análises enzimáticas. Foram determinadas a atividade enzimática das enzimas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD). Verificou-se uma tendência de redução da atividade enzimática das enzimas CAT e APX com o aumento da fração de lixiviação aplicada, ao contrário do observado para enzima SOD que apresentou comportamento crescente com o aumento das frações de lixiviação. As variedades Volumax e Sudão apresentaram baixos valores de atividade enzimática com o aumento das frações, podendo este comportamento estar relacionado a uma maior tolerância destas variedades ao estresse abiótico aplicado.

Palavras-chave: Enzimas, estresse oxidativo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Enzymatic metabolism in irrigated forage sorghum varieties with saline effluent from pisciculture in semi-arid conditions

Abstract. The objective of this study was to evaluate the response of the antioxidant enzyme system of varieties of sorghum subjected to irrigation with saline effluent from fish farming in semi-arid conditions. The experiment was conducted at the Experimental Caatinga, Embrapa Semi-Arid, Petrolina, locality of the semiarid of the State of Pernambuco, Northeast. The experimental design was adopted in randomized block split plot consisting of three varieties of sorghum (Volumax, F305 and Sudan) and four leaching fractions (FL): 0, 5, 10 and 15% in 3x4 factorial, with use of effluent saline fish farming, with four replications. The experiment was planted in commercial standard in April and all cultural practices were performed as indicated for culture. The collection of the plant material was carried out in July when the grains of the central portion of the panicle showed the pasty chalky. At the time it was collected sampled leaf blade of the third fully expanded leaf, which were immersed in liquid nitrogen (NL₂) for quick freezing, and stored at -20°C until enzymatic analysis. We determined the enzymatic activity of catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD). There was a tendency to reduce the enzymatic activity of CAT and APX enzymes with increased leaching fraction applied, unlike that observed for SOD showed increasing trend with increasing leaching fractions. The Volumax and Sudan varieties showed low levels of enzyme activity with increasing fractions, which may related to greater tolerance of these varieties to abiotic stress applied.

Keyword: Enzymes, oxidative stress, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Introdução

O cultivo de pastagens tolerantes a estresse vêm sendo indicada para regiões semiáridas, a qual apresenta uma alta variabilidade climática e grande escassez hídrica. No entanto, sua produtividade e qualidade sofrem influencia direta dos diversos fatores abióticos aos quais são submetidos (NEUMANN et al., 2010). Culturas mais tolerantes aos efeitos dos fatores abióticos encontrados em regiões semiáridas vêm sendo utilizadas no intuito de aumentar o potencial produtivo destas regiões.

Como isto, a produção de sorgo forrageiro vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente em regiões onde há baixa precipitação, regime de chuvas irregular e problemas de salinidade. Por se tratar de uma gramínea que possui mecanismos fisiológicos

que a torna mais tolerante ao estresse hídrico, pode suportar períodos maiores de estiagem (LIMA et al., 2010), constituindo-se numa importante alternativa de exploração agrícola para o agricultor do semiárido brasileiro.

Em todo o mundo espécies de plantas habitam diferentes matrizes de ambientes com diversas combinações de condições abióticas. Em regiões semiáridas podem-se observar condições de elevadas temperaturas, déficit hídrico, elevadas quantidades de sais no solo e na água, entre outros. Todos estes fatores provocam diversas alterações no metabolismo das plantas, que variam de leves a severas, dependendo da intensidade e interação destes fatores (NILSEN & ORCUTT, 1996). Estes fatores podem provocar estresses abióticos de forma bastante diferenciada em indivíduos de uma mesma espécie vegetal.

Estresses abióticos promovem um estresse secundário, o oxidativo, o qual é resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) no metabolismo celular. O mesmo pode ser definido por ser um desequilíbrio entre os níveis endógenos de compostos antioxidantes e compostos oxidantes ocasionando o acúmulo de ROS (CASSELLS & CURY 2001).

As ROS são subprodutos do metabolismo celular regular, podendo ser geradas também com alterações severas do sistema de transporte de elétrons durante condições de estresse. O principal local de produção em células vegetais durante o estresse são as organelas com alta atividade de oxidação metabólica ou com fluxo de elétrons sustentado: cloroplastos e mitocôndrias (BREUSEGEM et al., 2001; SOARES & MACHADO, 2007).

Em contra partida ao estresse, as plantas possuem um eficiente mecanismo de defesa antioxidante que age na ativação de um complexo sistema enzimático e não enzimático (AGARWAL & PANDEY, 2004). Tal sistema é composto por um grande número de compostos bioquímicos que desempenham papel fundamental na regulação e homeostase do sistema. Dentre as diversas enzimas que atuam neste sistema destacam-se as dismutases de superóxido (SOD), catalases (CAT) e peroxidases de ascorbato (APX) (MILLER et al., 2010), sendo que cada uma desempenha um papel fundamental no sistema de defesa oxidativa. Segundo Mittler (2002) a SOD é considerada a primeira linha de defesa contra as ROS, sendo responsável pela dismutação do $O_2^{\cdot-}$ para formar H_2O_2 e O^2 . A CAT e a APX são enzimas que catalisam a conversão do H_2O_2 à água e O_2 .

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as respostas do sistema enzimático antioxidativo de variedades de sorgo forrageiro submetidos a irrigação com efluente salino da piscicultura em condições semiáridas.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio São Francisco, (latitude 9° 8' 8,9'' S, longitude 40° 18' 33,6'' O, altitude 373 m) no período de fevereiro a julho de 2013. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) textura média, apresentando relevo plano. O clima da região é classificado como semiárido, do tipo BSw_h' segundo a classificação climática de Köppen. As chuvas se concentram nos meses de novembro a abril, com precipitação média anual em torno de 500 mm irregularmente distribuída. A umidade relativa média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio.

A área experimental foi preparada com aração e gradagem. A adubação de fundação foi realizada 2 dias antes da semeadura com base na análise da fertilidade do solo previamente efetuada (Tabela 1), sendo aplicado 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia, 60 kg ha⁻¹ de fósforo na formulação super fosfato simples, e 20 kg ha⁻¹ de potássio na forma de cloreto de potássio.

Tabela 1. Granulometria, parâmetros físicos e análise química do solo.

Profundidade	C.E	pH	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
	dS.m ⁻¹	-	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	cmol _c .dm ⁻³								%
0 – 10	4,96	5,5	7,7	15,65	0,65	0,80	2,8	1,50	0,00	2,1	5,8	7,8	73,4
10 – 20	1,99	5,7	5,7	14,25	0,55	0,65	1,9	1,30	0,00	2,7	4,4	7,1	61,8
20 – 45	2,91	7,4	6,3	3,60	2,05	1,50	1,8	1,40	0,00	3,7	6,8	10,4	64,7

Profundidade	Densidade (kg.dm ⁻³)		Porosidade Total (%)	Granulometria (g.kg ⁻¹)		
	Solo	Partícula		Areia	Silte	Argila
0 – 10	1,46	2,59	43,86	729,4	182,9	87,7
10 – 20	1,46	2,51	41,74	789,8	116,9	93,3
20 – 45	1,37	2,52	45,58	613,2	178,1	208,7

CE= condutividade elétrica do extrato de saturação; M.O.= matéria orgânica; P= fósforo disponível extraído por Mehlich⁻¹; Ca= cálcio trocável; Mg= magnésio trocável; Na= sódio trocável; K= potássio trocável; Al: acidez trocável; CTC= capacidade de troca de cátions à pH 7,0; V=saturação por bases.

As variedades de sorgo adotadas foram Volumax, F305 e Sudão. As sementes foram fornecidas pela Embrapa Milho e Sorgo e pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA.

Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro blocos, em parcelas subdivididas, composto por quatro frações de lixiviação (FL): 0%; 5%; 10% e 15%, em esquema fatorial 3x4, com uso de água salina proveniente da piscicultura constituindo as parcelas, e três variedades de sorgo forrageiro tolerantes à salinidade as subparcelas.

Cada unidade experimental (subparcela) foi formada por cinco fileiras de cinco metros de comprimento, perfazendo uma área de 5 fileiras x 5 m x 050 m = 12,5 m² (Figura 1), sendo fixado 10 plantas por metro linear, considerando-se úteis as plantas das fileiras centrais, eliminando os metros iniciais e finais de cada fileira.

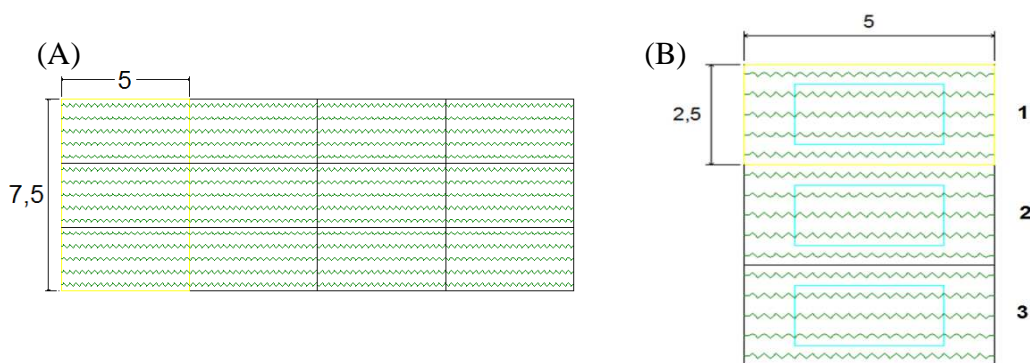


Figura 1. Croqui do experimento no campo, sendo (A) – Bloco e (B) – Parcela.

A semeadura foi realizada no mês de abril/2013, tendo a emergência ocorrida sete dias após a semeadura. Aos 30 dias após a semeadura foi realizada uma adubação nitrogenada de cobertura com 30 kg ha⁻¹.

As irrigações eram realizadas diariamente por gotejamento superficial através de tubo gotejador com emissores com vazão de 1,6 L h⁻¹, diâmetro nominal (DN) de 16mm, espaçados entre si a 0,30 m.

O sistema era abastecido por dois tanques de piscicultura com capacidade para 5 m³ de água, contendo tilápia preta a uma densidade populacional de 40 peixes por metro cúbico. No manejo dos tanques da piscicultura, 50% da água era trocada diariamente e bombeada para um terceiro tanque de armazenamento, a qual era utilizada na irrigação. Os tanques eram abastecidos com água salina proveniente de um poço artesiano a 900 m da área experimental. A condutividade elétrica da água do poço foi monitorada semanalmente com o auxílio de um condutímetro digital portátil.

As características químicas da água de irrigação foram determinadas em avaliações semanais ante e durante o experimento, apresentando médias conforme a Tabela 2.

Tabela 2 Características químicas da água de irrigação proveniente da piscicultura.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	pH	C.E. -25°C	Dureza CaCO ₃	R.A.S.
mmolc L ⁻¹					dS m ⁻¹		mg L ⁻¹	
12,6	7,7	7,2	0,34	35,2	8,19	2,57	50,75	2,26

CE= condutividade elétrica; Ca= cálcio; Mg= magnésio; Na= sódio; K= potássio; Cl= cloreto; RAS= relação de adsorção de sódio.

As lâminas d'água aplicadas por irrigação eram calculadas de acordo com a evapotranspiração da cultura (ET_o x K_c), medida no período entre duas irrigações, de acordo com a eficiência de aplicação de água do sistema conforme a Eq. 1.

$$Li = \frac{(ET_o * K_c * Kl) - P}{Ef} * (1 + FL) \quad (1)$$

Em que:

Li – Lâmina de irrigação, mm;

ET_o – Evapotranspiração medida no período, mm;

K_c – Coeficiente de cultivo da cultura (ALLEN et al., 1998);

K_l – Coeficiente de localização (KELLER & BLIESNER, 1990);

P – Precipitação medida no período, mm;

Ef – Eficiência do sistema de irrigação, 0,9;

FL – Fração de lixiviação necessária para a manutenção do equilíbrio salino no perfil de solo, decimal.

Os tratos culturais constituíram de uma capina manual aos 30 DAP e aplicação preventiva de inseticida aos 40 e 60 DAP.

A coleta do material vegetal para realização das análises bioquímicas foi realizada no mês de julho quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto pastoso a farináceo. Na ocasião foram coletadas amostras do limbo foliar da terceira folha completamente expandida, a contar do ápice para o colo da planta, imediatamente armazenadas em envelopes de papel alumínio e imersas em nitrogênio líquido (NL₂) para congelamento rápido do material. Posteriormente todo material foi armazenado em freezer a -20°C até o momento das análises enzimáticas.

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 (H₂O₂) a 1 mM. A reação foi iniciada pela adição de 25 µL do extrato protéico e a atividade determinada seguindo-se a decomposição do H₂O₂ por 60 segundos, em espectrofotômetro a 240 nm, sob temperatura de 25 °C.

A atividade da Ascorbato peroxidase (APX) seguiu-se conforme metodologia descrita por descrito 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 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), teste de médias (TUKEY) e regressão utilizando o programa Sisvar 5.0. Para as situações em que houve interação significativa entre variedades e frações de lixiviação foi realizado o desdobramento das variáveis dentro de cada fator, caso contrário, considerou-se o efeito independente dos fatores para as variáveis estudadas.

Resultados e Discussão

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam efeito significativo dos fatores fração de lixiviação e variedades em todas as variáveis analisadas, sendo que a interação entre os fatores se apresentou significativa apenas nas variáveis catalase (CAT) e Ascorbato peroxidase (APX). De maneira geral, os dados apresentaram coeficiente de variação aceitável, havendo valores elevados apenas para a variável superóxido dismutase (SOD).

Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANOVA) entre frações de lixiviação, variedades de sorgo forrageiro para as variáveis bioquímicas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD).

Fatores de Variação	Quadrado Médio		
	CAT	APX	SOD
Frações de Lixiviação	25,5023**	3823,6380**	2389,0971**
Resíduo 1	0,8804	228,1646	224,2652
Variedades	71,3526**	1299,9289*	2010,5242**
Frações de lixiviação X Variedades	18,6427**	856,6690*	249,5951 ^{ns}
Resíduo 2	1,5659	261,7897	133,94
C.V. (%) 1	12,1	20,29	39,6
C.V. (%) 2	16,13	21,74	30,6

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

No presente trabalho verificou-se uma tendência a diminuição da atividade das enzimas avaliadas com o aumento da fração de lixiviação aplicada. Com a aplicação de um adicional de água na lâmina de irrigação diária os sais que se acumulam na zona radicular são lixiviados, controlando a condutividade elétrica local e conseqüentemente aumentando a zona de conforto disponível para as raízes das plantas, diminuindo assim o estresse provocado pelos sais (CARVALHO et al., 2012;. ASSIS JUNIOR et al., 2007)

A variedade Volumax manteve baixa a atividade enzimática da SOD, diferindo significativamente das demais que apresentaram atividade elevada (Tabela 4). Tal comportamento pode estar relacionado com uma tolerância genética ao estresse ao qual as plantas foram submetidas.

Tabela 4. Atividade enzimática da SOD em variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação em condições semiáridas.

Variedade	Superoxido dismutase (U gMF ⁻¹ min ⁻¹)
Volumax	25,03 b
F305	45,97 a
Sudão	42,44 a

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

Alterações nos valores de SOD provocadas por estresses abióticos foram observadas por diversos autores. Carneiro et al. (2011) associam mudanças na atividade desta enzima a diferentes potenciais osmóticos no solo. Costa et al. (2005) ao testar duas variedades de sorgo quanto a tolerância à salinidade, verificaram um aumento significativo na atividade da SOD quando submetidas ao estresse salino.

Pode-se verificar que houve um aumento significativo dos valores de SOD com o aumento das frações de lixiviação aplicadas, com um aumento de 170% quando aplicado um percentual de 10% para induzir a lixiviação dos sais (Figura 2).

O aumento da atividade da enzima SOD apresentou comportamento parabólico, observando um pico com uma fração de 10%, com uma redução significativa na atividade no nível mais alto de lixiviação (Figura 2), corroborando com Azevedo (2013), que ao avaliar o efeito da salinidade em cana-de-açúcar sob condições de estresse abiótico múltiplo, verificou um aumento na atividade da SOD com a diminuição do estresse.

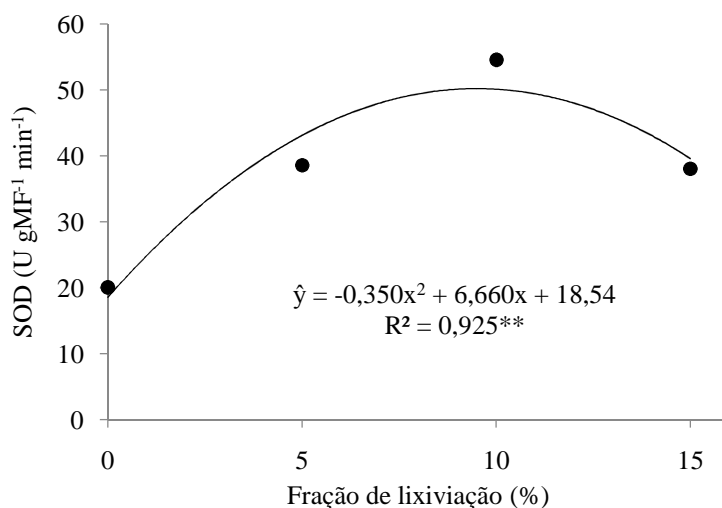


Figura 2. Atividade enzimática da SOD em variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação em condições semiáridas.

O padrão de resposta da atividade da APX nas variedades Volumax e F305 apresentou comportamento decrescente com a redução do estresse, sendo este quadrático e linear, respectivamente (Tabela 5). Tsimpho (2011) ao avaliar o efeito das frações de lixiviação sobre a atividade enzimática em plantas de milho verificou uma redução da atividade da APX com o aumento das frações, o mesmo relacionou tal comportamento com a maior disponibilidade de água para as plantas, o que resulta na redução da condutividade elétrica, e

consequentemente menor produção de ROS. Pode-se observar ainda que o estresse aplicado não provocou alteração na atividade enzimática da APX na variedade Sudão.

Tabela 5. Atividade enzimática da CAT e APX em variedades de sorgo forrageiro submetido a diferentes frações de lixiviação em condições semiáridas.

Variedade	Fração de lixiviação				Equação de regressão	R ²
	0	5	10	15		
----- Catalase (umolH ₂ O ₂ g MF ⁻¹ min ⁻¹) -----						
Volumax	12,22 a	7,55 b	10,5 a	7,22 a	$\hat{y} = -0,241^{**}x + 11,18^{**}$	0,41
F305	3,22 c	8,75 ab	6,17 b	3,34 b	$\hat{y} = -0,083^{**}x^2 + 1,21^{**}x + 3,615^{**}$	0,85
Sudão	8,11 b	10,67 a	8,83 a	6,50 a	$\hat{y} = -0,048^{**}x^2 + 0,6^{**}x + 8,305^{**}$	0,91
----- APX (umolAsA gMF ⁻¹ min ⁻¹) -----						
Volumax	118,93 a	70,0 a	64,76 a	85,24 a	$\hat{y} = 0,694^{**}x^2 - 12,53^{**}x + 118,0^{**}$	0,99
F305	105,71 ab	59,05 a	65,24 a	41,90 b	$\hat{y} = -3,704^{**}x + 95,76^{**}$	0,78
Sudão	78,57 b	75,24 a	61,90 a	66,67 ab	$\hat{y} = \bar{y} = 70,59$	-

Mesma letra minúscula entre variedades não diferem entre si respectivamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

*Coeficiente de regressão significativo a 5% de probabilidade; **Coeficiente de regressão significativo a 1% de probabilidade.

Pode-se observar um comportamento parabólico nas atividades da CAT nas variedades F305 e Sudão com o aumento da fração, com picos em 5% de lixiviação (Tabela 5), caracterizando uma redução da atividade desta enzima nas maiores frações de lixiviação. Resultados semelhantes foram encontrados por Azevedo (2013) e Tsimpho (2011), que verificaram uma tendência à redução da atividade desta enzima com a diminuição do estresse abiótico. Maiores valores de atividade da CAT foram observados na variedade Volumax, seguida do sorgo Sudão, podendo esta ser uma resposta mais eficiente do sistema de defesa enzimático ao estresse aplicado, tendo em vista que variedades de cana de açúcar com maior atividade desta enzima são caracterizadas como mais tolerantes ao estresse salino (WILLADINO et al., 2011).

Diversas são as respostas da APX e CAT face a um estresse aplicado, sendo que cada enzima atua de forma específica no mecanismo de defesa enzimático. A CAT atua na decomposição de H₂O₂, convertendo duas moléculas de H₂O₂ à H₂O e oxigênio molecular, enquanto que a APX exige o ácido ascórbico como redutor (BHATT & TRIPATHI, 2011).

Enquanto a APX possui alta afinidade com o H₂O₂, atuando na eliminação do peróxido mesmo em baixas concentrações (µM), a CAT atua principalmente em condições de elevadas concentrações de H₂O₂ (mM) e possui menor afinidade pelo H₂O₂ do que a APX

(DUBEY, 2011; LOCATO et al., 2010; SHARMA et al., 2012). Esta baixa afinidade para o H_2O_2 sugere que a CAT é responsável pela remoção de excesso ROS produzidas em condições de estresse (MHAMDI et al., 2012; MITTLER, 2002), caracterizando esta enzima como indispensável para a manutenção do sistema de defesa.

Comportamentos como o da variedade Volumax, a qual apresentou baixa atividade da enzima SOD (Tabela 4) e altos valores de CAT (Tabela 5), e do sorgo Sudão com alta atividade da CAT e sem alteração significativa da APX (Tabela 5) quando submetida a diferentes frações de lixiviação, sugerem que estas variedades possuem uma maior tolerância ao estresse aplicado.

Conclusões

A utilização das frações de lixiviação na irrigação promove uma redução no estresse oxidativo advindo do estresse salino.

Com a aplicação de frações de lixiviação há uma redução da atividade enzimática das enzimas catalase e ascorbato peroxidase.

A enzima superóxido dismutase apresentou um aumento da atividade enzimática com o aumento das frações de lixiviações aplicadas.

As variedades de sorgo forrageiro Volumax e Sudão respondem de forma mais eficiente ao estresse oxidativo do que a variedade F305.

Referências bibliográficas

AGARWAL, S.; PANDEY, V. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum*, v.48, p.555-560, 2004.

ASSIS JUNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, C. F.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em Função da fração de lixiviação e da salinidade da água de Irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.3, p.702-713, 2007.

AZEVEDO, V. M.. Ação combinada de fatores abióticos de estresse em cana-de-açúcar: variáveis fisiológicas e bioquímicas. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013

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.

BHATT, I.; TRIPATHI, B.N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. *Biotechnology Advances*, v.29, p.850-859, 2011.

BREUSEGEM, F. V.; VRANOVÁ, E.; DAT, J.F.; INZÉ, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science*, v. 161, p. 405-414, 2001.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. *Revista Brasileira de Sementes*, v.33, n.4, p.752-761, 2011.

CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M. H. V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p.368–374, 2012.

CASSELLS, A.C., CURY, R.F.: Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micropropagators and genetic engineers. - *Plant Cell, Tissue Organ Cult.* v.64, p.145-157, 2001.

COSTA, P. H. A.; AZEVEDO NETO, A. D.; BEZERRA M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Antioxidant-enzymatic system of two sorghum genotypes differing in salt tolerance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.17, n.4, p. 353-362, 2005.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: Science Publishers, 2011. cap.9, p.178-203.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

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

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.

LIMA, J. M. P.; LIRA, M. A.; LIMA, M. L.; SOBRINHO, E. E.; FREIRE, H. *Sorgo: plante certo para colher muito*. Revisado por Maria de Fátima Pinto Barreto. Natal: EMPARN, 2010. 24p. v. 16.

LOCATO, V. et al. Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: Science Publishers, 2010. p.45-64.

MHAMDI, A.; NOCTOR, G.; BAKER, A. Plant catalases: Peroxisomal redox guardians. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 525, n. 2, p. 181-194, 2012.

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. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, Kidlington, v. 7, p. 405–410, 2002.

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

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; SOUZA, A. N. M.; PELLEGRINI, L. G.; ZANETTE, P. M.; NORBERG, J. L.; SANDINI, I. E. Desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* X *Sorghum sudanense*) em manejo de cortes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, n.3, 2010.

NILSEN, E.; ORCUTT, D. *The physiology of plants under stress*. New York: John Wiley & Sons, 1996. p.704.

SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, v.2012, p.1-26, 2012.

SOARES, A.M.S., MACHADO, O.L.T.: *Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio*. - *Revista Trópica*. n. 1, p9-19, 2007.

TSIMPHO, C. J. Efeito da salinidade da água de irrigação e defrações de lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays*L.). 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

WILLADINO, L.; OLIVEIRA FILHO, R.A., SILVA JUNIOR, E.A.; GOUVEIA NETO, A; 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.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se as condições semiáridas e a irrigação com água salina, as variedades de sorgo forrageiro estudadas apresentaram valores satisfatórios de produtividade de massa seca;

A produtividade do sorgo forrageiro apresentou ajuste linear, com os maiores resultados para a fração de lixiviação de 15%, comprovando que a fração de lixiviação proporciona um aumento na produção de massa fresca e seca até este valor;

Com a aplicação das frações de lixiviação houve uma redução da atividade enzimática da Catalase e da Ascorbato peroxidase, mostrando que as frações aplicadas provocam uma diminuição do estresse oxidativo advindo da salinidade em plantas de sorgo forrageiro;

Apesar de apresentar baixa produtividade, a variedade Volumax mostrou-se eficiente no sistema de defesa enzimático.

A variedade Sudão apresentou-se mais tolerante à salinidade quando comparada com as variedades estudadas, obtendo maiores valores de produtividade de matéria seca, bem como uma maior eficiência no sistema de defesa enzimático quando submetido ao estresse salino.