



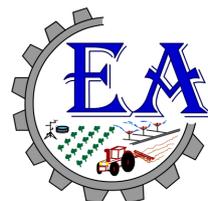
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

DANIELA SIQUEIRA COELHO

**INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NOS ASPECTOS
NUTRICIONAIS E MORFOFISIOLÓGICOS DE GENÓTIPOS
DE SORGO FORRAGEIRO**

JUAZEIRO/BA

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DANIELA SIQUEIRA COELHO

**INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NOS ASPECTOS
NUTRICIONAIS E MORFOFISIOLÓGICOS DE GENÓTIPOS
DE SORGO FORRAGEIRO**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a. DSc. Alessandra Monteiro Salviano Mendes

Co-orientador: DSc. Welson Lima Simões

JUAZEIRO/BA

2013

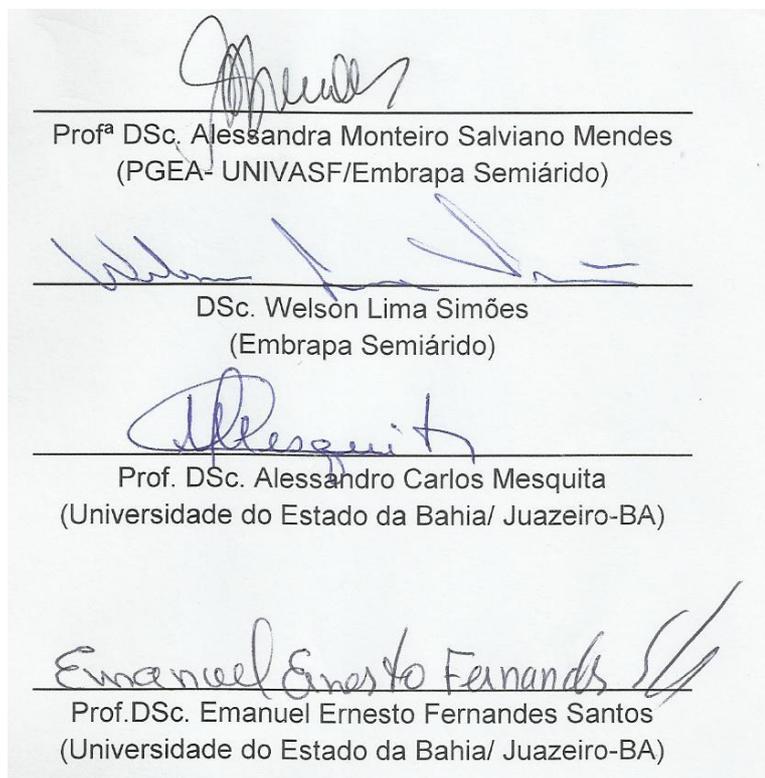
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniela Siqueira Coelho

**INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NOS ASPECTOS NUTRICIONAIS E
MORFOFISIOLÓGICOS DE GENÓTIPOS DE SORGO FORRAGEIRO**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.



Juazeiro, 25 de Julho de 2013

A663e Coelho, Daniela Siqueira
Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e
morfofisiológico de genótipos de sorgo forrageiro / Daniela Siqueira
Coelho. -- Juazeiro, 2013.
85f. il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade
Federal do Vale do São Francisco, Campus, Juazeiro, 2013.

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Monteiro Salviano Mendes.
Co-orientador: Welson Lima Simões.

1. Sorgo Forrageiro. 2. Solo - Salinidade. I. Título. II. Mendes,
Alessandra Monteiro Salviano, orient. III. Simões, Welson Lima, co-
orient. IV. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 633.174

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me guiado nessa caminhada.

À minha família, em particular aos meus pais e irmão, pela paciência, apoio e dedicação.

Aos amigos e colegas da pós-graduação da UNIVASF pela oportunidade de compartilhar momentos de alegria e dificuldades, e pelo apoio na execução dos trabalhos. Em especial, Russaika, Vanessa, Juliano, Hideo, Danilo, Marcos Alexandre, Francisco e Alberto.

Aos amigos e colegas da Embrapa Semiárido, em especial, Jair, Moisés, Janderson e Ezequiel, pelo auxílio nas atividades, não deixando de lembrar de Aleksandra, Miguel e Mírian pelo imenso companheirismo.

À equipe do laboratório de solos da Embrapa Semiárido, pelo auxílio nas análises. Ao grupo do laboratório de Fisiologia da UNEB, Jadson, Marlon, Gabiane e Daniela e Ao prof. Alessandro Mesquita por todo o auxílio.

À equipe do Laboratório de Citologia e Fisiologia Vegetal da UNIVASF, Vanusia, Cayque, Iug, Brenda e Prof. Aliçandro.

Aos amigos da graduação que nunca perderam o contato, em especial, Fabiana, Fernanda, Emanuely, Carlos Henrique, Josenara, Tayron, Antunes, Sayonara e Uldérico,

Ao corpo docente da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, pelos ensinamentos ou por colaborarem de diversas formas na minha formação.

À minha orientadora DSc. Alessandra Mendes, pelo incentivo, paciência, amizade, prestatividade, e por sempre ter se colocado à disposição para me auxiliar no que fosse necessário.

Ao meu Co-Orientador DSc, Welson Simões por toda a atenção e auxílio, tornando possível a execução desse trabalho, não deixando de agradecer por seu companheirismo, amizade e por seu humor incomparável.

Enfim, a todos que participaram de forma direta e indireta na minha vida durante esse período, muito Obrigada!

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- UNIVASF.

RESUMO

O aproveitamento de águas salinas em regiões áridas e semiáridas pode ser considerado uma alternativa viável para a produção agrícola, principalmente em áreas onde a escassez de água de boa qualidade é inevitável. No entanto, o excesso de sais acumulados no solo interfere diretamente no crescimento e produtividade das culturas, o que torna imprescindível a seleção de genótipos mais tolerantes a salinidade e que sejam adaptados a essa região, a exemplo do sorgo forrageiro. O objetivo desse trabalho foi avaliar a tolerância à salinidade de genótipos de sorgo forrageiro, visando a inclusão desses genótipos em sistemas de produção que utilizam água de baixa qualidade para irrigação. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, em Petrolina – PE. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados dispostos em esquema fatorial 10x6, considerando dez genótipos de sorgo forrageiro ('F305', 'BRS 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1.015.045', '1.016.005', '1.016.009', '1.016.013', '1.016.015' e '1.016.031') e soluções salinas com seis valores de condutividade elétrica: 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹, utilizando três repetições. As soluções salinas foram preparadas com os sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O na proporção de 7:2:1. Os genótipos de sorgo foram cultivados em vasos plásticos de 8 litros, utilizando-se como substrato um ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico de textura média, cujas deficiências nutricionais foram corrigidas a partir da aplicação parcelada de soluções nutritivas. A aplicação das soluções salinas foi iniciada duas semanas após a semeadura, permanecendo até a colheita. Aos 60 dias após início de aplicação das soluções salinas foram avaliadas as variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar, trocas gasosas e índices de clorofila a e b. Em seguida as plantas foram retiradas para posteriores determinações de massa fresca, massa seca e teor de água da parte aérea e raízes. A partir do material seco de folhas, colmos e raízes foi determinado o acúmulo de macronutrientes, Na e Cl nesses órgãos. Também foram coletadas folhas frescas e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido para determinação posterior dos teores de açúcares totais, redutores, proteínas e aminoácidos. A partir dos resultados obtidos, observou-se que, no geral, os genótipos de sorgo forrageiro estudados apresentaram características semelhantes quanto às reduções no crescimento e produtividade, bem como no acúmulo e distribuição dos macronutrientes em folhas, colmos e raízes. Também se verifica uma moderada tolerância à salinidade desses genótipos, provavelmente associada a mecanismos como controle no acúmulo de sódio nas folhas, aumento da eficiência do uso da água, ajustamento osmótico associado ao acúmulo de açúcares solúveis, principalmente não redutores, manutenção na síntese e proteção de pigmentos como as clorofilas.

Palavras-chave: soluções salinas, estresse salino, crescimento, trocas gasosas, solutos orgânicos

COELHO, D.S. **Influence of salinity on nutritional and morphophysiological aspects of forage sorghum genotypes.** 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco- UNIVASF.

ABSTRACT

The use of saline water in arid and semiarid regions has been considered a viable alternative to agricultural production, especially in areas where water scarcity is inevitable. However, excess salts in the soil directly affect the growth and yield of crops, which necessitates the selection of genotypes tolerant to salinity and present adaptation to this region, such as the forage sorghum. The aim of this study was to evaluate the salt tolerance of forage sorghum genotypes, seeking the inclusion of these genotypes on production systems that use low quality water for irrigation. The study was conducted in a greenhouse located at Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, in Petrolina - PE. The experimental design was randomized blocks in a factorial 10x6 considering ten cultivars of forage sorghum ('F305', 'BRS 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1 .015.045 ', '1 .016.005' , '1 .016.009 ', '1 .016.013', '1 .016.015 'and '1 .016.031') and saline solutions with six electrical conductivity values: 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 , 10 and 12.5 dS m⁻¹ using three replicates. The salt solutions were prepared from the salts NaCl, CaCl₂.2H₂O and MgSO₄.7H₂O in the ratio of 7:2:1. Sorghum genotypes were grown in plastic pots of 8 liters, using as substrate soil of the middle texture, whose nutritional deficiencies were corrected from the split application of nutrient solutions. The application of saline was started two weeks after sowing, remaining until harvest. 60 days after the beginning of application of saline solutions were evaluated variables plant height, stem diameter, leaf area, leaf gas exchange rates and chlorophyll a and b. Then the plants were removed for subsequent determinations of fresh weight, dry weight and water content of shoots and roots. Also fresh leaves were collected and immediately frozen in liquid nitrogen for later determination of the levels of sugars, proteins and amino acids. In general, the forage sorghum genotypes studied showed similar characteristics related to reductions in growth and productivity, as well as the accumulation and distribution of macronutrients in leaves, stems and roots. The forage sorghum genotypes presented moderate salinity tolerance, probably associated with control mechanisms such as the accumulation of sodium in leaves, increased water use efficiency, osmotic adjustment associated with the accumulation of soluble sugars, mainly non reducing maintenance and protection in the synthesis of pigments like chlorophylls.

Keywords: salt solutions, salt stress, growth, gas exchange, organic solutes.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1	pág.
Figura 1. Redução percentual da altura, diâmetro do colmo, massas secas da parte aérea e raízes em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com soluções salinas com diferentes valores de condutividade elétrica (**= $p < 0,01$).	31
Figura 2. Teor de água da parte aérea (%) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com soluções salinas com diferentes valores de condutividade elétrica (**= $p < 0,01$).	34
Figura 3. Área foliar em sorgo forrageiro irrigado com soluções salinas com diferentes valores de condutividade elétrica (**= $p < 0,01$).	33
ARTIGO 2	
Figura 1- Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), temperatura foliar (T_f), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em plantas de sorgo forrageiro após 60 dias de irrigação com águas salinas com diferentes valores de condutividade elétrica. **Regressão significativa a 1% de probabilidade.	47
Figura 2- Índice de clorofila a e b em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro: 'F305' (G1), 'BRS 655' (G2), 'BRS 610' (G3), 'Volumax' (G4), '1.015.045' (G5), '1.016.005' (G6), '1.016.009' (G7), '1.016.013' (G8), '1.016.015' (G9) e '1.016.031'(G10). Colunas de mesmas letras minúscula e maiúscula não diferem entre genótipos respectivamente para os índices de clorofila a e b, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.	49
Figura 3- Índice de clorofila A e B em folhas de sorgo forrageiro submetidos à irrigação com águas salinas com diferentes valores de condutividade elétrica. Para regressão não significativa ($p > 0,05$) adotou-se $\hat{y} = \bar{y}$	49
Figura 4- Açúcares redutores, açúcares solúveis totais, aminoácidos totais e proteínas solúveis. **Regressão significativa a 1% de probabilidade. Para regressão não significativa ($p > 0,05$) adotou-se $\hat{y} = \bar{y}$	51

ARTIGO 3

- Figura 1.** Acúmulo de macronutrientes nos colmos de sorgo forrageiro irrigados com águas de diferentes níveis de salinidade. **; * regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.71
- Figura 2.** Acúmulo de N, P e K em folhas de sorgo forrageiro irrigados com águas de diferentes níveis de salinidade. **; * regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.72
- Figura 3.** Acúmulo de N, P e Ca em raízes de sorgo forrageiro irrigados com águas de diferentes níveis de salinidade. **; * regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.73

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1	pág.
Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de genótipos de sorgo forrageiro sob diferentes níveis de salinidade.....	27
Tabela 3. Análise de variância (ANAVA) entre genótipos, condutividade elétrica (CE_a) das soluções salinas e interação genótipos \times CE_a para as diferentes variáveis.....	29
Tabela 4. Variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, massas seca da parte aérea e das raízes, aérea foliar e teor de água da parte aérea em genótipos de sorgo forrageiro.....	30
Tabela 5. Teores foliares de Na^+ em genótipos de sorgo forrageiro submetidos à irrigação com águas salinas com diferentes valores de condutividade elétrica.....	34
Tabela 6. Teores foliares de Cl^- em genótipos de sorgo forrageiro submetidos à irrigação com águas salinas com diferentes valores de condutividade elétrica.....	35
ARTIGO 2	
Tabela 1- Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade.....	43
Tabela 2- Resultado da Análise de variância (ANOVA) para trocas gasosas, teores de solutos orgânicos e índices de clorofila a e b entre genótipos, condutividade elétrica das soluções salinas (CE_a) e interação genótipos \times CE_a	45
Tabela 3- Trocas gasosas e teores de clorofila a e b em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro.....	46
Tabela 4- Solutos orgânicos em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro.	50
ARTIGO 3	
Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade.....	67

Tabela 2. Análise de variância (ANAVA) entre genótipos, condutividade elétrica (CE _a) das soluções salinas e interação genótiposXCE _a para acúmulo dos macronutrientes nas folhas, colmos e raízes de sorgo forrageiro.....	68
Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) entre genótipos, condutividade elétrica (CE _a) das soluções salinas e interação genótiposXCE _a para acúmulo de Na e Cl nas folhas, colmos e raízes de sorgo forrageiro.	69
Tabela 4. Acúmulo de macronutrientes (mg) nos colmos, de N, P e K nas folhas e N, P e Ca nas raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro, independente dos níveis de salinidade avaliados.....	70
Tabela 5. Acúmulo de Ca, Mg e S em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.	74
Tabela 6. Acúmulo de K, Mg e S nas raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.	75
Tabela 7. Acúmulo de Na em folhas, colmo e raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.	76
Tabela 8. Acúmulo de Cl em folhas, colmo e raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.	77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Interferência da salinidade sobre o solo	14
2.2. Interferência da salinidade sobre as plantas	16
2.3. Cultivo de sorgo em ambiente salino.....	20
2.4. Aproveitamento de águas Salinas	21
3. ARTIGO 1: Crescimento e teores foliares de Na⁺ e Cl⁻ em genótipos de sorgo forrageiro irrigados com águas salinizadas	24
Introdução	25
Material e Métodos.....	26
Resultados e Discussão.....	29
Conclusões	36
Referências.....	36
4. ARTIGO 2: Trocas gasosas e solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade	40
Introdução	41
Material e Métodos.....	42
Resultados e Discussão.....	45
Conclusões	52
Referências.....	52
5. ARTIGO 3: Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade	56
Introdução	56
Material e Métodos.....	57
Resultados e Discussão.....	59
Conclusões	64
Referências.....	64
6. CONCLUSÃO GERAL	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar predomínio de solos jovens e pouco profundos em áreas que possuem elevadas taxas de evapotranspiração superando os índices de precipitação.

Essas condições favorecem a acumulação de sais na superfície do solo e ainda limitam a disponibilidade de água de boa qualidade, tornando fundamental o aproveitamento de águas salinas, encontradas em diversos açudes e poços perfurados nessa região.

Devido às altas concentrações de sais, essas águas muitas vezes são consideradas impróprias para o consumo humano e dessedentação de animais, sendo necessária a adoção de medidas alternativas para seu aproveitamento, como na irrigação de plantas mais tolerantes à salinidade.

Considerando a limitação de conhecimento sobre o potencial produtivo de espécies que se desenvolvem bem em ambientes salinos, é importante a realização de estudos que possibilitem a seleção de espécies com genótipos que favoreçam a produção satisfatória sob baixa qualidade de água para irrigação e que sejam adaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido nordestino.

O sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], por exemplo, tem sido apontado como uma cultura de alto potencial de uso em áreas salinizadas do semiárido devido ao seu alto valor energético na alimentação animal, além de sua adaptação a ambientes secos, salinos e quentes, os quais são limitantes para o cultivo de outras espécies forrageiras (BUSO et al., 2011).

Trabalhos relacionados à avaliação de sorgo forrageiro submetido a diferentes níveis de salinidade tem identificado diversos genótipos que se apresentam satisfatoriamente tolerantes, o que vem reforçando a necessidade de realizar estudos mais detalhados para verificar o potencial de produção desses genótipos sob essas condições.

Dessa forma, pretende-se com esse trabalho avaliar o efeito da salinidade sobre aspectos morfofisiológicos e nutricionais em diferentes genótipos de sorgo forrageiro visando a identificação de genótipos promissores para utilização em áreas que apresentam problemas com a salinização dos solos, ou que não dispõem de água com qualidade para irrigação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A salinidade é um problema que atinge cerca de 50% dos 250 milhões de hectares de área irrigada do globo terrestre, sendo que 10 milhões de hectares são abandonados anualmente em virtude desse problema (FAO, 2005).

A presença de sais na água e no solo ocorre naturalmente, sendo que sua concentração varia principalmente conforme sua origem, presença de matéria orgânica, adubação, manejo e as próprias condições climáticas das regiões, diretamente relacionadas com o volume e a frequência de precipitação. Em regiões de clima úmido e semiúmido, a concentração salina nas águas é frequentemente expressa por uma pequena quantidade de espécies de íons (FERREIRA et al., 2010). Segundo Medeiros et al. (2010) não é comum ser observado nessas regiões a formação natural de solos salinos, pois os sais no perfil do solo são intensamente lixiviados pelas precipitações elevadas.

Nas regiões áridas e semiáridas as concentrações de sais podem atingir valores elevados, prejudicando o solo e as plantas. Isso ocorre devido às características climáticas dessas regiões, com elevadas taxas evaporação e transpiração além da baixa precipitação, possibilitando a ascensão de sais pela superfície do solo (MEDEIROS et al., 2010).

Quando o processo de salinização ocorre por aumento da concentração de sais na superfície por meio da ascensão por evaporação da água em regiões de baixa precipitação, ou em condições de acúmulo de sais através do intemperismo de minerais ou por serem transportados pelas águas de outros locais, esses fenômenos são denominados de salinização primária, ocorrendo sem a interferência do homem (RIBEIRO et al., 2009).

No entanto, um dos maiores problemas da salinidade tem sido também ocasionado pelo processo conhecido como salinização secundária, que ocorre devido ao manejo inadequado da irrigação associado à drenagem deficiente e à presença de águas subsuperficiais ricas em sais solúveis localizadas em baixa profundidade. Esse processo ainda pode ser intensificado pela aplicação de fertilizantes de forma excessiva e pouco parcelada ao longo do ciclo cultural, o que induz as plantas a uma condição de estresse (OLIVEIRA et al, 2010).

Dessa forma, o conhecimento da dinâmica de sais no solo se torna importante principalmente quando se considera sua interação com os diversos fatores

edafoclimáticos (permeabilidade do solo, nível do lençol freático, quantidade e distribuição das chuvas, umidade relativa do ar, temperatura, etc.) e com ação do homem (irrigação, práticas culturais, etc.), afetando diretamente as propriedades físicas e químicas do solo e conseqüentemente a produtividade das culturas (QUEIROZ et al., 2010).

2.1. Interferência da salinidade sobre o solo

De um modo geral um solo é considerado salino quando a quantidade de sais existentes é capaz de prejudicar o desenvolvimento das plantas, devido a alterações na qualidade física e química desses solos. Para a maioria das culturas isso ocorre quando a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) é igual ou superior a 2 dS m^{-1} (HOLANDA et al., 2010).

No entanto, quando se considera a classificação do “U.S. Salinity Laboratory”, os solos são caracterizados como salinos quando apresentam pH inferior a 8,5, CE_{es} superior a 4 dS m^{-1} e percentagem de sódio trocável (PST) inferior a 15%. Já os solos salinos-sódicos possuem pH próximo de 8,5, CE_{es} superior 4 dS m^{-1} e PST superior a 15% e os solos sódicos possuem pH, em geral, na faixa de 8,5 a 10, CE_{es} inferior a 4 dS m^{-1} e PST superior a 15% (OLIVEIRA et al, 2010).

O efeito dos sais sobre o solo depende basicamente da interação eletroquímica existente entre os sais e suas partículas constituintes, refletindo diretamente no grau de estabilização de seus agregados. Nesse caso, durante o processo de salinização, o acúmulo de cátions de menor valência sobre a superfície das partículas do solo (argilas), pode ocasionar a expansão das mesmas, enfraquecendo as forças de ligação entre elas a ponto de dispersá-las (LIMA, 1997).

Após serem dispersas, as partículas de argila são eluviadas juntamente com a água de percolação, ocupando os espaços porosos e elevando a densidade do solo (SPERA et al., 2008).

A redução da porosidade natural e o maior adensamento do solo podem ocasionar limitações na disponibilidade de ar e água para as plantas e aumentar a resistência para o crescimento das raízes, além de proporcionar maiores problemas para a infiltração da água no perfil, interferir na atividade biológica de microrganismos e facilitar o processo de erosão (SANTI et al., 2002).

Em outros casos a dispersão das argilas ocorre sobre a superfície do solo, formando uma camada delgada de elevada densidade global, pequena porosidade e baixa condutividade hidráulica, em um processo conhecido como selamento superficial (SILVA e KATO, 1997), dificultando a infiltração de água no solo e conseqüentemente interferindo na sua disponibilidade para as plantas.

Esse processo é comum onde ocorre excesso de sódio (Na^+), por apresentar maior capacidade de dispersar as argilas. Portanto a redução na qualidade física do solo está mais relacionada a formação de solos sódicos do que os propriamente salinos.

O excesso de sais pode ainda afetar a qualidade química dos solos. As desordens nutricionais observadas em plantas cultivadas em solos salinos e sódicos estão diretamente relacionadas com a limitação do crescimento radicular; bem como pela redução da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Nesse caso, pode-se observar a precipitação de sais menos solúveis após saturação da solução do solo com íons de alta solubilidade. Essa queda na disponibilidade é comum em íons cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}) e potássio (K^+), em função do aumento da concentração de Na^+ na solução do solo (FREIRE e FREIRE, 2007), causando um desbalanço na relação entre eles.

A sodicidade dos solos também pode estar associada à presença de carbonatos, proporcionando altos valores de pH, o que interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Com o aumento do pH, os macronutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) tendem a se apresentar na forma de espécies mais disponíveis para as plantas, enquanto que potássio (K) e enxofre (S) são pouco influenciados (FREIRE e FREIRE, 2007).

Já os micronutrientes, exceto o molibdênio (Mo) e o cloro (Cl), sofrem redução na solubilidade em meios de pH neutro a alcalino, tornando-se pouco disponíveis para as plantas e podendo gerar um estado de deficiência nutricional (FREIRE e FREIRE, 2007).

Outros efeitos diretos da salinidade sobre a nutrição das plantas são os distúrbios na absorção ou distribuição dos nutrientes, provavelmente ocasionados pela absorção dos íons Na^+ e Cl^- em níveis tóxicos, causando alterações no metabolismo celular com conseqüente desequilíbrio nutricional (CRUZ et al., 2006).

Em plantas que crescem em solos afetados por sais, por exemplo, observa-se a diminuição da concentração de K^+ no citosol celular ocasionada pelo maior

aumento da concentração de Na^+ (ZHU, 2003). Essa menor absorção de K^+ tem sido atribuída à maior competição entre o Na^+ e o K^+ pelos sítios de adsorção ou a um maior efluxo de K^+ das raízes (MARSCHNER, 1995).

Nobre et al. (2010) verificaram que a absorção de N por plantas de girassol foi comprometida, provavelmente devido ao aumento da competição iônica nos sítios de adsorção à medida que os íons Cl^- são acrescentados e acumulados no solo.

Bosco et al. (2009) observaram decréscimo na concentração de N, K, Mg, Ca, Fe e Mn, em folhas de berinjela com o aumento da condutividade elétrica do solo sendo verificado o inverso para a concentrações de P, Zinco (Zn), Cobre (Cu), Na e Cl. Os mesmos autores atribuíram esses resultados tanto ao desequilíbrio na disponibilidade de nutrientes no solo, como pelo efeito dos elementos Na e Cl no metabolismo das plantas, alterando a dinâmica de absorção e redistribuição dos mesmos.

2.2. Interferência da salinidade sobre as plantas

A inibição do crescimento das plantas sob condições salinas ocorre tanto devido ao déficit hídrico provocado pela redução do potencial osmótico do solo, quanto pelo efeito causado pelo acúmulo de determinados íons no protoplasma, podendo causar problemas de toxicidade iônica, deficiências nutricionais ou ambos (MUNNS, 2005).

Em situações de estresse em um período de curta duração normalmente é observada a predominância do efeito osmótico dos sais, fazendo com que o potencial hídrico do ambiente radicular diminua e restrinja a absorção de água; já em estresses de longa duração, é possível que os íons se acumulem e provoquem toxidez, induzindo distúrbios nutricionais e metabólicos (MUNNS, 2002).

Os íons Na^+ e Cl^- normalmente são predominantes em ambientes salinos. Seus efeitos tóxicos estão associados aos distúrbios em relação ao balanço iônico (K^+ e Ca^{++} em relação ao Na^+) e à absorção desbalanceada de elementos essenciais (MEDEIROS e GHEYI, 1997), bem como à ação específica desses íons sobre o funcionamento de enzimas e membranas (FLORES, 1990).

Dentre as principais conseqüências observadas a partir do acúmulo de íons Na^+ e Cl^- nas folhas pode-se citar necrose nos tecidos foliares e a aceleração da senescência de folhas maduras, reduzindo assim a área destinada à fotossíntese

(MUNNS, 2002). Dessa forma, haverá limitação da atividade fotossintética não só a partir do fechamento estomático ocasionado pelo estresse osmótico, mas também pelo efeito dos sais sobre as folhas.

Além do efeito iônico e osmótico ocasionado pela salinidade, as plantas podem sofrer por estresse oxidativo, que por razões pouco elucidadas, ocorre a partir do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), tais como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) e o radical hidroxil (HO^{\cdot}), os quais são altamente reativos e podem alterar o metabolismo celular, atuando, por exemplo, na inativação de proteínas, enzimas e DNA, além de desestruturar as membranas (ALSCHER et al., 1997).

Segundo Santana et al. (2007) as culturas respondem diferentemente à salinidade, podendo se apresentar desde extremamente sensíveis em níveis de salinidade relativamente baixos ou até produzir rendimentos aceitáveis em condições altamente salinas. As plantas mais adaptadas aos ambientes salinos são conhecidas como halófitas; por outro lado, as plantas sensíveis à salinidade ou mais bem adaptadas aos ambientes não salinos, são chamadas de glicófitas (LARCHER, 2000).

Os diferentes níveis de adaptação das espécies à salinidade permitem uma elevada variação quanto ao crescimento e desenvolvimento das plantas em resposta a essa condição. Expressando os níveis de salinidade a partir da CE, estudos confirmam que os valores limites de CEes para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas, em $dS\ m^{-1}$, é de 7,7 para o algodoeiro, 7,0 para beterraba açucareira, 6,8 para sorgo, 8,0 para grãos de cevada, 6,0 para trigo, 5,0 para soja e 4,0 para beterraba hortenses (SILVA, 1991), no entanto, plantas de feijão, milho, laranja, limão e maçã já apresentam problemas em solos com $2,0\ dS\ m^{-1}$ de CE (DIAS e BLANCO, 2010).

O grau de tolerância à salinidade das plantas depende da ativação de múltiplas vias bioquímicas que promovem a acumulação de água nas células, resguardando as funções fotossintéticas e conservando a homeostase iônica (ESTEVES e SUZUKI, 2008).

Dentre as estratégias bioquímicas utilizadas pelas plantas pode-se citar a acumulação ou exclusão seletiva de íons, controle da entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas, compartimentalização de íons em nível celular (vacúolos) e estrutural (folhas), síntese de osmólitos, alterações nas vias fotossintéticas,

modificações na estrutura de membrana, indução de enzimas antioxidantes e hormônios (ESTEVES e SUZUKI, 2008). Dessa forma, o nível de tolerância de uma determinada espécie irá depender da adoção de um ou mais desses mecanismos e de sua eficiência na redução dos danos causados pelos sais em excesso.

No caso das halófitas, observa-se uma compartimentalização eficiente de íons inorgânicos no vacúolo, acompanhada do acúmulo de solutos orgânicos compatíveis no citoplasma, os quais mantêm o equilíbrio osmótico entre os compartimentos celulares. Nas glicófitas, o ajustamento osmótico celular também ocorre, porém a compartimentalização dos íons não é tão eficiente como nas halófitas (HASEGAWA et al., 2000).

Nobre et al. (2010) verificaram que plantas de girassol foram significativamente afetadas quando submetidas a irrigação com água salina (até $4,9 \text{ dS m}^{-1}$) e Silva et al. (2009) estimaram a redução do crescimento de plantas de pinhão manso em até 50%, quando irrigadas com solução salina de $4,7 \text{ dS m}^{-1}$, o que demonstra que plantas dessas espécies podem ser consideradas glicófitas, e portanto, não desenvolvem mecanismos eficientes de ajustamento osmótico e bioquímico para resistir a condições de salinidade.

Cruz et al. (2006) observaram que o maracujazeiro-amarelo, quando submetido a salinidade de até 100 mM de NaCl, desenvolvem mecanismos de compartimentalização dos íons Na^+ e Cl^- nas folhas completamente expandidas e de Cl^- nas raízes, protegendo assim os ápices foliares. Ghoulam et al. (2002), trabalhando com plantas de beterraba açucareira irrigadas com soluções de até 200 mM de NaCl, verificaram elevado acúmulo de Na^+ , Cl^- e K^+ nas folhas, o que possibilita a manutenção no seu potencial hídrico e conseqüentemente maior tolerância das plantas à salinidade.

Já a planta halófita *atriplex* tem apresentado resultados satisfatórios quanto ao crescimento em condições de salinidade por apresentar mecanismos de extrusão de íons via vesículas especiais localizadas nas bordas foliares além da eficiente compartimentalização de íons em seu interior que possibilita o ajustamento osmótico da planta sem causar toxidez (ARAÚJO et al.; 2006).

O controle do balanço iônico é um dos processos mais importantes na determinação da tolerância das plantas a ambientes salinos. Nesse processo, as plantas desenvolvem mecanismos para acumulação de solutos, através da absorção de íons do meio externo ou pela mobilização de seus próprios constituintes

orgânicos, tornando o potencial osmótico mais negativo (YAMAGUCHI e BLUMWALD, 2005).

Esse processo também conhecido como osmorregulação ou regulação osmótica varia bastante em relação ao tipo de soluto utilizado, sendo que diversas espécies tem demonstrado eficiência no controle osmótico a partir do acúmulo de compostos orgânicos conhecidos como solutos compatíveis.

Dentre os principais grupos de solutos compatíveis destacam-se: os aminoácidos (como a prolina), compostos amônio-quaternários (glicina betaína, alanina betaína, prolina betaína), polióis ou álcoois polídricos, como pinitol e manitol, açúcares solúveis (frutose, sacarose, trealose, rafinose) ou poliméricos (frutanas), além de poliaminas (putrescina, espermidina e espermina) (HASEGAWA et al., 2000).

As vantagens da utilização de solutos compatíveis se devem à menor interferência nas reações bioquímicas normais, pois têm efeito mínimo no pH e no balanço de cargas do citosol e compartimentos lumenais das organelas, além de possuírem a habilidade de manter a integridade das membranas celulares e prevenir a desnaturação das proteínas, o que não acontece com a utilização de íons absorvidos do meio externo (OLIVEIRA et al., 2010).

Além da atuação desses mecanismos, as respostas das plantas à salinidade são muitas vezes acompanhadas por alterações morfológicas e anatômicas, como por exemplo, redução do crescimento e de sua área foliar, estando estes associados principalmente à redução da pressão de turgor, a qual interfere nos processos de alongamento e divisão celular (TAIZ e ZEIGER, 2013); aumento da espessura do mesófilo foliar devido ao aumento no número e comprimento das células paliçádicas e no número de camadas de células paliçádicas e esponjosas (PARIDA et al., 2004). Também se pode observar um aumento da suberização das células endodérmicas radiculares e da formação das estrias de Caspary em plantas salinizadas, como forma de reduzir o transporte de Na^+ pela via apoplástica (OLIVEIRA et al., 2010), no entanto esse mecanismo pode limitar a absorção de água e nutrientes pelas raízes.

Dessa forma, pode-se observar que a solução de grande parte dos problemas da salinidade na produção agrícola depende da compreensão dos aspectos fisiológicos e bioquímicos das plantas cultivadas sob essas condições, contribuindo para o esclarecimento dos mecanismos de tolerância e susceptibilidade à salinidade

e conseqüentemente para o desenvolvimento de cultivares que produzam economicamente sob condições de estresse (PRISCO e GOMES-FILHO, 2010).

2.3. Cultivo de sorgo em ambiente salino

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea de origem tropical que apresenta características xerófilas, desenvolvendo mecanismos eficientes de tolerância à seca. Por pertencer ao grupo de plantas C4, essa espécie suporta elevados níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, mesmo em condições de limitação na disponibilidade de CO₂, a partir do mecanismo de fechamento dos estômatos para minimização de perda de água (LANDAU e SANS, 2010).

Devido às características de seu denso sistema radicular, capaz de descompactar o solo e movimentar os nutrientes nas diferentes camadas do solo, o sorgo é considerado uma cultura importante no sistema de rotação de culturas e para produção de biomassa no sistema de plantio direto (LANDAU e SANS, 2010).

Segundo Silva (2003), para alcançar altas produtividades, o sorgo requer dias e noites quentes, com temperaturas médias acima de 25°C, atingindo a maturidade entre 90 e 140 dias. É uma espécie indicada para regiões que apresentam regime hídrico desfavorável com precipitações variando de 400 a 600 mm por ano ou menos.

Essa cultura possibilita fermentação adequada e conseqüente armazenamento sob forma de silagem, apresentando altos teores de carboidratos solúveis e de proteína bruta em algumas variedades. Além de serem utilizadas para pastejo e seus grãos direcionados para produção de rações animais e para o consumo humano (OLIVEIRA et al., 2006).

Quanto às características do solo, o sorgo é considerado tolerante a diversas condições, podendo ser cultivado satisfatoriamente em solos que variam de argilosos a ligeiramente arenosos. No entanto, apesar de bem adaptada a solos arenosos e de baixa fertilidade, o sorgo se desenvolve melhor em solos bem preparados, com acidez corrigida, ricos em matéria orgânica, pH entre 5,5 e 6,5, topografia plana e sem excesso de umidade (LANDAU e SANS, 2010).

Além dessas características, o sorgo tem sido reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino (VIEIRA et al., 2005), sendo baseada na classificação

de Ayers e Westcot (1999) para plantas que não são significativamente afetadas pela salinidade quando submetidas à salinidade correspondente ao nível de condutividade elétrica da pasta de saturação entre 3 e 6 dS m⁻¹. Essa capacidade de adaptação é muito útil e permite a utilização dessa espécie com rendimentos economicamente aceitáveis, principalmente quando o cultivo em condições salinas é inevitável, o que permite o aproveitamento de solo e água salinos (AQUINO et al, 2007).

No entanto devido ao acúmulo diferencial de íons tóxicos, solutos orgânicos e nutrientes essenciais, observado entre diversos genótipos de sorgo, tem se verificado variações significativas quanto à tolerância dos mesmos à salinidade (LACERDA et al., 2001).

Aquino et al. (2010) observaram diferenças acentuadas quanto as respostas fisiológicas entre dois genótipos de sorgo submetidas a salinidade. Oliveira et al. (2006) verificaram que a concentração de carboidratos solúveis, proteínas solúveis, aminoácidos livres totais e prolina no tecido foliar de sorgo forrageiro, foi proporcional ao teor de sal no meio de cultivo, no entanto, houve variações entre os genótipos estudados.

Dessa forma, reforça-se a necessidade de realizar estudos para identificação de genótipos mais tolerantes à salinidade e que sejam adaptados às características edafoclimáticas específicas de cada região, para que seja possível estabelecer estratégias de manejo com essa espécie em áreas que apresentam problemas com a salinização, seja por processos naturais ou induzidos pela irrigação com águas que apresentam níveis elevados de sais.

2.4. Aproveitamento de águas Salinas

No semiárido nordestino pode ser verificado que a disponibilidade de água de boa qualidade para irrigação está cada vez mais difícil. Devido à geologia dessa região é frequente a obtenção de água rica em sais, muitas vezes impróprias para o consumo (SOARES et al., 2010).

Nas formações cristalinas que cobrem 52% do nordeste semiárido, as águas são relativamente novas com o tempo de residência de 30 a 300 anos, com máximo de até 2.000 anos. A salinidade dessas águas varia de 350 a 25.000 ppm de sólidos

totais dissolvidos, havendo predominância de cloretos de sódio e magnésio (REBOUÇAS e BRAGA, 2002).

Nessa região, o aumento da demanda por água associado a sua baixa disponibilidade em determinados locais, principalmente em períodos de estiagem, vem obrigando a população a utilizar águas que apresentem níveis de salinidade mais elevados, principalmente na expansão de áreas irrigadas (MEDEIROS et al., 2003).

A qualidade da água para irrigação é avaliada não apenas pelo seu conteúdo total de sais, mas também pela composição individual dos íons presentes. Alguns cátions e ânions, quando em excesso, podem trazer prejuízos ao solo (pelo efeito direto na sodificação) e às plantas cultivadas, dependendo do grau de tolerância destas aos sais (OLIVEIRA e MAIA, 1998).

As águas salinas podem ser avaliadas a partir da determinação da concentração de cátions e ânions, do pH, da condutividade elétrica (CE) e da relação de adsorção de sódio (RAS). A condutividade elétrica (CE) é o parâmetro mais empregado para expressar a concentração de sais solúveis na água e corresponde à medida da capacidade de uma água em conduzir eletricidade, sendo crescente à medida que a concentração de sais aumenta, enquanto que a relação de adsorção de sódio (RAS) expressa a quantidade relativa de sódio que é adsorvida pelas partículas do solo quando a água é aplicada ao mesmo (LACERDA et al., 2010).

No entanto, existem amplas evidências em todo o mundo que águas de alta salinidade, classificadas como inadequada para irrigação, podem ser utilizadas para diversas culturas (RHOADES et al., 2000). Por outro lado, sua utilização indiscriminada pode salinizar os solos, comprometendo a produção dessas culturas.

Rhoades et al. (2000) sugerem que para utilização de águas de baixa qualidade para irrigação também se deve levar em consideração as condições gerais de uso, como clima, cultura utilizada, característica do solo, método de irrigação e prática de manejo para evitar que ocorra a elevação da salinidade do solo, em níveis não tolerantes para a planta cultivada.

Esse processo é decorrente da evapotranspiração, que diminui a umidade do solo, porém praticamente não elimina os sais, de forma que a solução do solo torna-se mais salina à medida que o solo seca. Dessa forma, uma água que apresenta inicialmente uma concentração salina aceitável pode alcançar valores elevados.

Como também, outros fenômenos podem acontecer a exemplo da precipitação de determinados sais da solução do solo, tornando-o indisponível para as plantas. Isso costuma ocorrer com alguns sais de Ca^{++} de baixa solubilidade, podendo promover um aumento da proporção de Na^+ na solução do solo e do Percentual de Sódio Trocável (PST) do mesmo (ALMEIDA, 2010).

Para contornar esse problema, deve-se permitir a utilização de lâminas excedentes de irrigação para percolar no perfil do solo e garantir um equilíbrio favorável dos sais na zona radicular da cultura. Essa lâmina de lixiviação pode ser aplicada intencionalmente ou pode ocorrer como consequência das perdas espontâneas proporcionadas pela irrigação (MEDEIROS et al., 2010).

No caso de águas de baixa salinidade, de modo que não permita que a salinidade do solo não ultrapasse a salinidade limiar em todo o ciclo da cultura, não seria necessário realizar lixiviações constantes. Nesse caso, poderia ser realizada apenas uma lavagem de recuperação no final do ciclo da cultura (BLANCO e FOLEGATTI, 2002).

Em todo caso, durante o manejo das culturas é requerida atenção especial principalmente quando se trata de uma área que apresenta um solo com problemas de salinidade ou quando a água de irrigação encontra-se rica em sais (FIGUEIRÊDO, 2008).

3. ARTIGO 1:

Crescimento e teores foliares de Na⁺ e Cl⁻ em genótipos de sorgo forrageiro irrigados com águas salinizadas¹

RESUMO. A eficiência das plantas em desenvolver mecanismos específicos para sobreviver ao estresse salino pode variar significativamente entre genótipos, implicando em respostas diferenciadas no seu crescimento e produtividade. O objetivo do presente estudo foi avaliar o crescimento e teores foliares de Na⁺ e Cl⁻ em dez genótipos de sorgo forrageiro submetidos a irrigações com águas salinizadas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, em Petrolina – PE. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados dispostos em esquema fatorial 10x6, considerando dez genótipos ('F305', 'BRS 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1.015.045', '1.016.005', '1.016.009', '1.016.013', '1.016.015' e '1.016.031') e soluções salinas com seis valores de condutividade elétrica (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹) utilizando três repetições. As variáveis avaliadas foram massa seca e conteúdo de água da parte aérea e raízes, altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar e teores foliares de Na⁺ e Cl⁻. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o crescimento dos genótipos de sorgo forrageiro foram similarmente afetados pelo aumento da salinidade, havendo certa relação com a elevação dos teores de íons Na⁺ e Cl⁻ nas folhas.

Palavras-chave: área foliar, salinidade, massa seca, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Growth and foliar Na⁺ and Cl⁻ concentration in genotypes of forage sorghum irrigated with salinity waters

ABSTRACT. The efficiency of the plants to develop specific mechanisms to survive under salt stress can vary significantly between genotypes, implying different responses in growth and productivity. The aim of this study was to evaluate the salt tolerance of forage sorghum genotypes by analysis of growth variables correlated with the levels of Na⁺ and Cl⁻ accumulated in the leaves. Research was conducted in a greenhouse of the Empresa Brasileira

¹ Artigo padronizado nas normas da Revista Acta Scientiarum Agronomy

32 de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiarid, in Petrolina-PE. The treatments were
33 arranged in a randomized block design according to a factorial arrangement 10x6 considering
34 ten genotypes ('F305', 'BRS 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1,015,045', '1,016,005',
35 '1,016,009', '1,016,013', '1,016,015' and '1,016. 031') and salt solutions with six levels of:
36 electrical conductivity (0, 2.5, 5.0, 7.5, 10 and 12.5 dS m⁻¹) using three replications. The
37 variables evaluated were dry matter and water content of the shoot and root, plant height,
38 stem diameter, leaf area and foliar concentration of Na⁺ and Cl⁻. From the results, it was found
39 that the growth of forage sorghum were also affected by increasing salinity. There is a certain
40 relationship with increasing concentrations of Na⁺ and Cl⁻ in the leaves.

41

42 **Keywords:** leaf area, salt stress, dry matter, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

43

44 **Introdução**

45

46 O aproveitamento de águas salinas vem sendo considerado uma alternativa viável para
47 a produção de culturas em geral, principalmente em áreas que não dispõem de água de boa
48 qualidade e os níveis de precipitação são insuficientes para manter uma agricultura
49 sustentável (OLIVEIRA et al, 2010).

50 No entanto, é inevitável a interferência dos sais sobre o crescimento e rendimento das
51 culturas devido ao estresse a que são submetidas. Segundo Tavakkoli et al. (2012) os
52 principais efeitos são o osmótico, no qual o acúmulo de sais no solo interfere diretamente na
53 absorção de água pelas plantas; os desequilíbrios nutricionais, com a redução da absorção de
54 nutrientes como Ca⁺², K⁺ e NO₃⁻, que competem com os íons que se encontram em excesso no
55 solo; e iônico, causado pela absorção em níveis tóxicos de íons como o Na⁺ e Cl⁻.

56 O excesso de Na⁺ e sobretudo de Cl⁻ no protoplasma ocasionam distúrbios em relação
57 ao balanço iônico bem como alteram o funcionamento de enzimas e membranas (WU et al.,
58 2005), o que irá refletir diretamente no crescimento e produtividade das culturas.

59 Em resposta a essas condições de estresse, mecanismos são ativados pelas plantas de
60 forma a promover a manutenção das funções celulares, como ajustamento osmótico
61 (TÜRKAN; DEMIRAL, 2009), compartimentação de íons nos vacúolos ou sua exclusão por
62 tecidos e órgãos (BAVEI et al., 2011), síntese de solutos compatíveis (MISRA; SAXENA,
63 2009), manutenção na síntese de antioxidantes (COSTA et al., 2005), entre outros. Plantas

64 que desenvolvem eficientemente um ou mais desses mecanismos, apresentam maior grau de
65 tolerância ao estresse salino.

66 Essas adaptações refletem diretamente no crescimento das plantas, podendo interferir
67 em sua altura (VIEIRA et al. 2005), em sua área foliar (ARAÚJO et al., 2010); nos teores de
68 água da planta (FERNANDES et al., 2011), como também pode ocasionar alterações na
69 acumulação e partição de matéria seca devido a sua influência sobre a assimilação de CO₂,
70 produção e distribuição de fotoassimilados (AQUINO et al., 2007).

71 O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] é uma cultura que vem sendo difundida no
72 mundo por sua importância na alimentação humana, nutrição animal e produção de açúcar e
73 etanol (MIRANDA et al., 2013). Para alimentação animal, o sorgo forrageiro destaca-se por
74 ser bastante energética, com alta digestibilidade e produtividade (BUSO et al., 2011). Essas
75 características associadas a sua maior adaptação a condições de estresse hídrico e salino tem
76 tornado o seu cultivo mais atraente em regiões secas e que não dispõem de água de alta
77 qualidade para irrigação.

78 No entanto, o grau de tolerância à salinidade pode se manifestar de forma diferenciada
79 entre genótipos, refletindo diretamente no seu crescimento e produtividade. Trindade et al.
80 (2006) verificaram que genótipos de sorgo forrageiro mais tolerantes à salinidade podem
81 apresentar mecanismos que restringem o transporte de íons Na⁺ e Cl⁻ para as folhas. Lacerda
82 et al. (2001), por exemplo, verificaram maior acúmulo desses íons nas folhas fisiologicamente
83 ativas de um genótipo de sorgo forrageiro considerado mais sensível à salinidade, quando
84 comparadas com um genótipo mais tolerante.

85 Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a tolerância à salinidade de dez
86 genótipos de sorgo forrageiro a partir de respostas sobre o crescimento e os teores foliares de
87 Na⁺ e Cl⁻, quando irrigadas com soluções salinas de diferentes níveis de condutividade
88 elétrica.

89 **Material e Métodos**

90

91 O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Empresa
92 Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, em Petrolina – PE. Foram
93 utilizados vasos plásticos com capacidade para 8 litros, perfurados e conectados a mangueiras
94 coletoras para condução da fração de água lixiviada, como forma de controle da irrigação.

95 Os vasos foram preenchidos com uma camada de brita de aproximadamente dois
96 centímetros, completando-se o volume com solo. O solo utilizado foi um ARGISSOLO

97 AMARELO Distrófico latossólico, de textura média, coletados na profundidade de 0 a 0,2 m,
98 cujas características químicas e físicas são apresentadas na tabela 1.

99

100 **Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de genótipos de sorgo forrageiro sob
101 diferentes níveis de salinidade.

M.O.	pH H ₂ O	CE _{es}	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	T
g kg ⁻¹	(1:2,5)	dS m ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
4,14	5,7	0,74	1,4	1,9	0,03	0,28	0,05	5,92
P	V	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
mg dm ⁻³	%	-----mg dm ⁻³ -----			-----g kg ⁻¹ -----			
7,2	61	0,3	23,2	19,6	1,0	846,4	135,1	17,9

102 CE_{ES}= condutividade elétrica do extrato de saturação; M.O.= matéria orgânica; P= fósforo disponível extraído por Mehlich¹; Ca²⁺=
103 cálcio trocável; Mg²⁺= magnésio trocável; Na⁺= sódio trocável; K⁺= potássio trocável; Al³⁺: acidez trocável; T= capacidade de troca
104 de cátions à pH 7,0; V=saturação por bases; Fe=ferro disponível; Mn= manganês disponível; Cu= cobre disponível; Zn= zinco
105 disponível. Micronutrientes extraídos com Mehlich¹.

106 O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados dispostos em
107 esquema fatorial 10x6, considerando dez genótipos de sorgo forrageiro e água salina com seis
108 valores de condutividade elétrica (CE_a), compostos por três repetições. Os genótipos
109 avaliados foram 'F305', 'BRS 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1.015.045', '1.016.005',
110 '1.016.009', '1.016.013', '1.016.015' e '1.016.031', pertencentes ao banco de germoplasma
111 da Embrapa Milho e Sorgo.

112 A semeadura foi realizada colocando-se cinco sementes por vaso, a dois centímetros
113 de profundidade. Duas semanas após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando duas
114 plantas por vaso, e iniciadas as irrigações com as soluções salinas com os seguintes valores de
115 CE_a: 0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹. As soluções foram preparadas a partir dos sais NaCl,
116 CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O, de modo a se obter proporção equivalente entre Na:Ca:Mg de
117 7:2:1 (AQUINO et al., 2007).

118 Para correção da fertilidade do solo foram feitas aplicações de 500 mL de solução
119 nutritiva preparada segundo recomendação de Novais et al. (1991) para experimentos em casa
120 de vegetação (Tabela 2). A quantidade recomendada foi parcelada em três aplicações a cada
121 vinte dias, iniciada após o desbaste.

122 Com o objetivo de corrigir eventuais carências nutricionais do solo foram feitas
123 aplicações de 500 mL de solução nutritiva, preparada a partir de valores recomendados por
124 Novais et al. (1991) para experimento em casa de vegetação. Foram utilizados 5,4; 4,4 e 4,5 g
125 por vaso de NaH₂PO₄, KH₂PO₄ e (NH₄)₂SO₄, e 28,0; 31,5; 1,6; 67,5; 10,6; 3,0 e 4,0 mg por
126 vaso de H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, MnSO₄.H₂O, ZnSO₄.7H₂O,
127 FeSO₄.7H₂O e Na₂EDTA, respectivamente. A quantidade de nutrientes foi parcelada em três
128 aplicações a cada vinte dias, iniciada após o desbaste.

129 As irrigações foram realizadas de forma a manter a umidade do solo próximo à
130 capacidade de campo e evitar o acúmulo de sais. Para isso, os vasos foram irrigados a cada
131 dois dias, mantendo-se uma fração de lixiviação de aproximadamente 15%.

132 Aos 60 dias após o início das aplicações das soluções salinas foram feitas medidas de
133 altura da planta, diâmetro do colmo, comprimento (C) e largura (L) da folha +3. A área foliar
134 (AF) foi estimada segundo modelo proposto por Sans e Pellegrin (1998) em que $AF =$
135 $0,7811 \times C \times L - 14,964$ ($R^2 = 0,98$).

136 A colheita foi iniciada no dia seguinte, ocorrendo de forma parcelada por um período
137 de dez dias, sendo as plantas retiradas à medida que os grãos da porção central das panículas
138 adquiriam aspecto pastoso a farináceo.

139 Após a colheita, as plantas foram separadas em parte aérea (PA) e raízes (R) e pesadas
140 para obtenção da massa fresca. Posteriormente o material foi colocado em estufa para secar a
141 60°C por 72 horas para determinação da massa seca. A partir dos dados de massa seca e fresca
142 foram estimados os teores de água (TA) da parte aérea e das raízes considerando a relação TA
143 $= (\text{massa fresca} - \text{massa seca}) \times 100 / \text{massa fresca}$.

144 As folhas secas foram trituradas em moinho para determinação dos teores de Na^+ e Cl^- ,
145 sendo os teores de Na^+ determinados em fotômetro de chama após o material ser submetido à
146 digestão nítrico-perclórica (1:3 v/v). A determinação dos teores de Cl^- foi realizada após
147 extração em água e da titulação com AgNO_3 , na presença do indicador $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

148 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o programa
149 Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2003). Para as situações em que houve interação significativa entre
150 genótipos e níveis de salinidade foi realizado o desdobramento das variáveis dentro de cada
151 fator, caso contrário, considerou-se o efeito independente dos fatores para as variáveis
152 estudadas.

153 Para comparação entre os níveis de salinidade foram avaliados modelos de regressão
154 de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 1% ou 5% de probabilidade. O
155 teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi adotado para os casos de regressões não
156 significativas ($p > 0,05$). Para comparação entre os genótipos foi realizado o teste de Scott
157 Knott a 5% de probabilidade.

158

159

160

161

162 Resultados e Discussão

163

164 Os resultados da análise de variância demonstraram que as variáveis altura da planta,
165 diâmetro do colmo, área foliar e massas secas da parte aérea e raízes apresentaram efeito
166 independente entre genótipos e entre os níveis de salinidade (Tabela 3).

167

168 **Tabela 2.** Análise de variância (ANAVA) entre genótipos, condutividade elétrica (CE_a) das soluções salinas e
169 interação genótiposXCE_a para as diferentes variáveis.

Fatores de Variação	Quadrado Médio								
	ALT	Ø	MSPA	MSRA	TA-PA	TA-R	AF	Na ⁺	Cl ⁻
Genótipos	1334,9**	13,5**	183,6**	362,6**	8,9 ^{ns}	90,6 ^{ns}	70.649,8**	82,4**	839,3**
CE _a	43.905,5**	44,4**	6.650,6**	6.034,9**	119,6**	44,5 ^{ns}	33.942,4**	1.038**	17.541**
Genótipos X CE _a	239,5 ^{ns}	1,9 ^{ns}	37,1 ^{ns}	138,9 ^{ns}	16,9 ^{ns}	68,7 ^{ns}	3.000,3 ^{ns}	33,3*	293,3*
Resíduo	164,5	2,9	44,9	132,3	18,4	86,8	2.818,4	22,8	187,1
C.V. (%)	13,7	16	23,6	58,8	6	12,4	32,3	64,4	33,7

170 **= p<0,01 e ns= não significativo. ALT= Altura da planta; Ø= Diâmetro do colmo; MSPA e MSRA= massas
171 secas da parte aérea e raízes; TA-PA e TA-RA= Teores de água na parte aérea e nas raízes; AF:=Área foliar.

172

173 Para os teores de água da parte aérea foram verificadas diferenças significativas
174 apenas entre os valores de CE_a, sendo que nas raízes, essa variável não foi influenciada pela
175 salinidade ou pelos genótipos. Entretanto, para os teores de Na⁺ e Cl⁻ nas folhas, a interação
176 entre os fatores foi significativa.

177 As diferenças apresentadas entre as variáveis de crescimento desses genótipos,
178 independente dos níveis de salinidade avaliados (Tabela 4), revelam características
179 morfológicas distintas que podem favorecer maior adaptação a condições de estresse salino.

180 Os genótipos ‘BRS 655’, ‘Volumax’, ‘1.016.009’, ‘1.016.013’ e ‘1.016.031’
181 apresentaram altura superior aos demais, não havendo diferenças significativas entre si
182 (Tabela 4), enquanto que em ‘BRS 610’ e ‘1.015.045’ a altura das plantas foi inferior aos
183 demais genótipos.

184 Albuquerque et al. (2009), trabalhando com ‘F305’, ‘BRS 610’ e ‘BRS 655’,
185 verificaram que ‘F305’ e ‘BRS 610’ foram respectivamente os genótipos que apresentaram
186 maior e menor altura durante dois ciclos consecutivos, corroborando com os resultados
187 encontrados.

188

189

190

191

192
193
194**Tabela 3.** Variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, massas seca da parte aérea e das raízes, aérea foliar e teor de água da parte aérea em genótipos de sorgo forrageiro.

	ALT (cm)	Ø (mm)	MSPA (g)	MSRA (g)	AF (cm ²)	TA-PA (%)
F305	91,3 b	11,3 a	33,2 a	13,7 a	321,8 a	71,5 a
BRS 655	97,8 a	9,8 b	28,4 a	7,7 b	119,0 c	71,0 a
BRS 610	75,5 d	10,3 b	22,9 b	6,1 b	121,7 c	72,0 a
Volumax	96,7 a	10,3 b	29,8 a	10,2 b	172,0 b	70,8 a
1.015.045	84,4 c	11,7 a	28,8 a	11,2 b	140,3 c	72,4 a
1.016.005	92,1 b	11,6 a	30,8 a	9,0 b	187,6 b	72,2 a
1.016.009	98,2 a	11,1a	28,1 a	12,8 a	181,8 b	72,0 a
1.016.013	104,7 a	10,2 b	29,5 a	8,6 b	110,1 c	71,3 a
1.016.015	91,4 b	10,8 a	29,4 a	9,4 b	171,1 b	70,9 a
1.016.031	102,0 a	8,9 b	23,0 b	9,0 b	117,9 c	72,9 a

195
196
197
198
199

ALT= altura da planta; Ø=diâmetro; MSPA= massa seca da parte aérea; MSRA= massa seca das raízes; AF=área foliar; TA-PA= teor de água da parte aérea (TA). Colunas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

Cunha e Lima (2010) afirmam que a altura das plantas de sorgo forrageiro pode representar maior rendimento na produção de massa verde, tendo em vista que é um dos indicativos de crescimento e desenvolvimento vegetativo. No entanto, deve-se levar em consideração outras variáveis, como diâmetro, área foliar, acúmulo de massa seca, os quais variaram significativamente entre os genótipos.

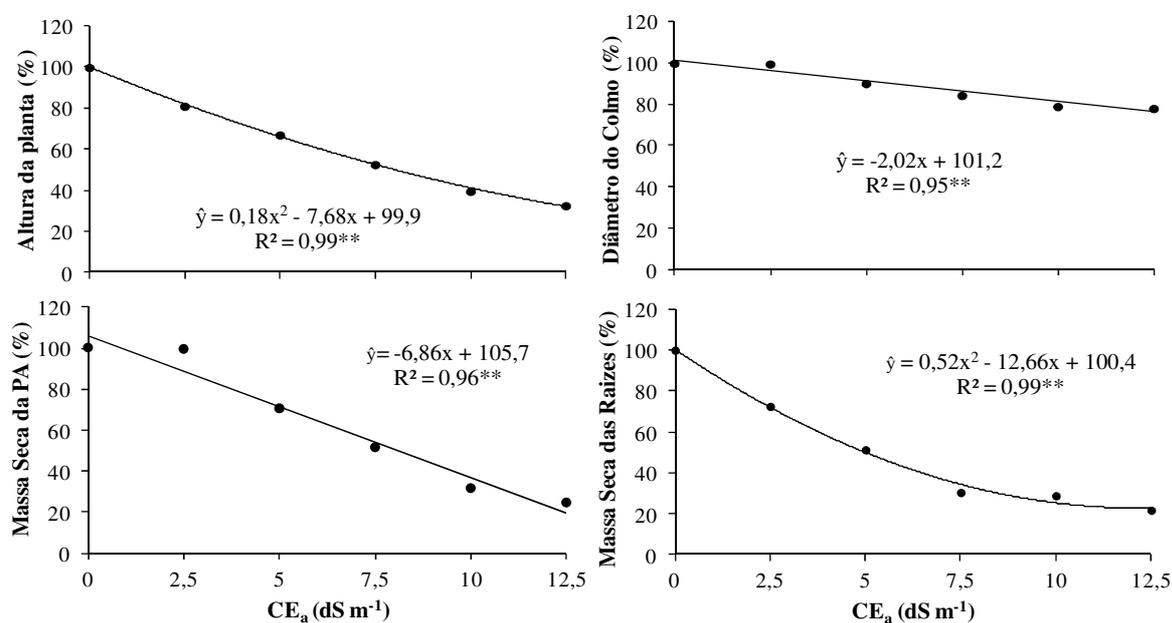
Os maiores diâmetros de colmo foram apresentados por 'F305', '1.015.045', '1.016.005', '1.016.009' e '1.016.015'. Enquanto que, para a maioria dos genótipos não foram verificadas diferenças significativas em relação à massa seca da parte aérea, com exceção de 'BRS 610' e '1.016.031', que foram inferiores aos demais.

Em relação à massa seca das raízes, 'F305' e '1.016.009' foram superiores, o que pode significar uma característica importante na adaptação a condições de estresse salino. Segundo Sadeghi e Shourijeh (2012), a massa das raízes está relacionada diretamente com seu crescimento e distribuição no solo, portanto, valores superiores podem representar maior capacidade de suporte ao desenvolvimento da parte aérea em condições de salinidade, minimizando problemas como limitações na absorção de água e nutrientes devido a um maior volume de solo explorado.

O genótipo 'F305' também apresentou maior área foliar quando comparado aos demais genótipos (Tabela 4), o que sugere uma possível relação com o maior crescimento radicular ao considerar uma maior área destinada a fotossíntese e conseqüentemente maior produção e translocação de fotoassimilados para as raízes.

220 Já os teores de água da parte aérea não apresentaram diferenças significativas entre os
 221 genótipos (Tabela 4), demonstrando que os mecanismos utilizados para regulação do estado
 222 hídrico das plantas foram ativados de forma semelhantes entre genótipos. Esses mecanismos
 223 podem estar relacionados com o fechamento estomático, à acumulação de íons nos vacúolos e
 224 de solutos orgânicos no protoplasma (ESTEVES; SUZUKI, 2008).

225 Os níveis de salinidade influenciaram significativamente na redução das variáveis de
 226 crescimento. Reduções da altura da planta e massa seca das raízes foram representados por
 227 equações de segundo grau, enquanto que os decréscimos no diâmetro do colmo e na massa
 228 seca da parte aérea foram lineares (Figura 1).



229
 230 **Figura 1.** Redução percentual da altura, diâmetro do colmo, massas secas da parte aérea e raízes em plantas de
 231 sorgo forrageiro irrigadas com soluções salinas com diferentes valores de condutividade elétrica (**= p<0,01).
 232

233 A altura das plantas foi diretamente afetada pela salinidade, sendo observado uma
 234 redução de 50% para valores de 8,0 dS m⁻¹. O efeito da salinidade na altura das plantas está
 235 relacionada à redução do potencial hídrico do solo, o qual limita a absorção de água pelas
 236 raízes, interferindo diretamente em processos de alongamento, divisão celular e
 237 consequentemente no crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Silva et al. (2011)
 238 ainda sugerem que essa redução também se deve aos efeitos tóxicos dos íons Na⁺ e Cl⁻ sobre o
 239 metabolismo celular.

240 A influência da salinidade sobre a altura das plantas de sorgo forrageiro foi constatada
 241 em diversos trabalhos. Lacerda et al. (2001) observaram reduções de 18 e 46% no
 242 crescimento inicial da parte aérea de genótipos de sorgo forrageiro CSF 20 e CSF 18, quando

243 submetidos a soluções com 100 mM de NaCl. Vieira et al. (2005), trabalhando com os
244 genótipos CSF 20 e CSF 18, verificaram reduções de 6 e 10% na altura das plantas quando
245 irrigadas com soluções salinas de até 5,8 dS m⁻¹. Miranda et al. (2008) verificaram reduções
246 entre 9 e 72% na altura de plantas de sorgo sudão cultivadas em solos salino-sódicos com
247 CE_{es} de 10 dS m⁻¹, sob aplicação diferenciada de CaCl₂.

248 Essas diferenças demonstram que a influência da salinidade sobre o crescimento das
249 plantas não depende somente do genótipo, como também do método de cultivo, como a
250 composição e a forma de aplicação das soluções salinas, propriedades químicas e físicas dos
251 solos, como também do manejo e dos métodos de correção de sua fertilidade.

252 O diâmetro do colmo, quando comparado às demais variáveis, foi considerada menos
253 sensível à salinidade, ocorrendo redução de apenas 25% para CE_a correspondente a 12,5 dS
254 m⁻¹. Essa característica foi semelhante em diversas culturas submetidas ao estresse salino,
255 como pinhão manso (VERAS et al., 2011), mamoneira (CAVALCANTI et al. 2005),
256 maracujazeiro (FREIRE et al., 2012) e feijão caupi (LIMA et al., 2007).

257 Similar ao que ocorreu com a altura das plantas, a massa seca da parte aérea
258 apresentou redução linear com aumento da salinidade, atingindo 50% para valores de 8,0 dS
259 m⁻¹. Essa característica linear no decréscimo da massa seca da parte aérea demonstra que os
260 níveis de salinidade avaliados não permitiu a definição do ponto onde ocorre a salinidade
261 limiar (SL) dos genótipos, a qual é caracterizada pelo valor que a CE_a pode atingir sem reduzir
262 o seu rendimento potencial. Segundo Maggio et al. (2007), após o ponto de SL ocorre o
263 declínio gradativo no rendimento da cultura com o aumento da salinidade, sendo comum a
264 apresentação de uma regressão linear para explicar esse comportamento.

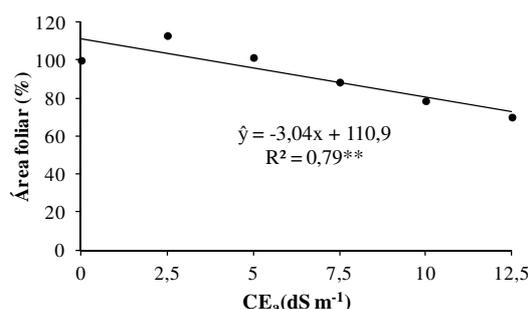
265 Redução na produção de massa seca da parte aérea também foram observadas por
266 Aquino et al. (2007) em dois genótipos de sorgo forrageiro com o aumento da salinidade,
267 havendo decréscimos de 29 e 40% respectivamente nos genótipos CSF 18 e CSF 20 quando
268 submetidos a irrigação com soluções de até 8 dS m⁻¹.

269 Santana et al. (2007) também observaram decréscimos em massa seca para cana-de-
270 açúcar cultivada em solos com diferentes texturas e irrigadas com soluções salinas de até 8 dS
271 m⁻¹. Culturas como o milho apresentaram redução de massa seca da parte aérea superior a
272 50% (WILLADINO et al., 1999), o sorgo sudão foi acima de 60% (FEIJÃO et al, 2011) e
273 maracujá-amarelo em torno de 30% (CRUZ et al., 2006) quando submetidos a soluções de
274 100 mM de NaCl.

275 Segundo Araújo et al. (2010) a redução da produção de massa seca está associada
 276 principalmente ao efeito tóxico de íons como o Na^+ e Cl^- sobre a fixação líquida de carbono e
 277 consequente produção de fotoassimilados.

278 Considerando a massa seca das raízes, verificou-se que essa variável foi mais afetada
 279 pela salinidade do que a parte aérea, apresentando redução correspondente a 50% para CE_a de
 280 $5,0 \text{ dS m}^{-1}$. Respostas diferentes foram observadas por Lacerda et al. (2004), os quais
 281 verificaram redução de 14% da massa seca das raízes de genótipo de sorgo forrageiro CSF 18,
 282 enquanto que o genótipo CSF 20 apresentou redução de apenas 8% quando submetidos a 75
 283 mM de NaCl . Para os mesmos dois genótipos de sorgo forrageiro, Aquino et al. (2007)
 284 verificaram que as massas secas das raízes foram igualmente afetadas quando submetidas a
 285 soluções de até 8 dS m^{-1} .

286 Reduções lineares na área foliar também foram observadas com o aumento da
 287 salinidade, sendo correspondente a 27% para a CE_a de $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 3).



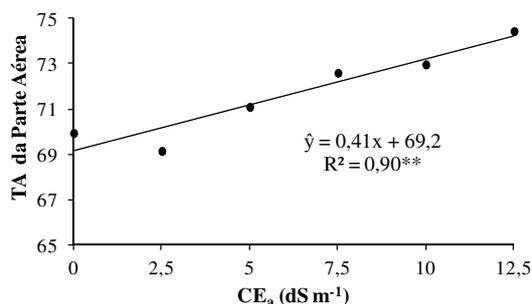
288

289 **Figura 2.** Área foliar em sorgo forrageiro
 290 irrigado com soluções salinas com diferentes
 291 valores de condutividade elétrica (**= $p < 0,01$).
 292

293 Decréscimos na área foliar provavelmente estão associados a mecanismos de defesa
 294 das plantas sob condições de estresse salino com o objetivo de reduzir as perdas de água por
 295 transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2013). Araújo et al. (2010) afirmam que a redução da área
 296 foliar com consequente diminuição no volume das células contribuem para o ajuste osmótico,
 297 admitindo-se que a quantidade de soluto absorvido é concentrada em menor volume de suco
 298 celular. Entretanto, também representa alterações na partição de fotoassimilados e redução na
 299 área destinada ao processo fotossintético (GOMES et al., 2011), o que pode estar relacionado
 300 com a redução da produção de massa seca.

301 Em relação aos teores de água (TA) da parte aérea e raízes, observou-se que houve
 302 incremento no TA da parte aérea com o aumento da salinidade (Figura 2), enquanto que o TA

303 das raízes não foi afetado significativamente devido a essas condições (dados não
304 apresentados).



305
306 **Figura 3.** Teor de água da parte aérea (%) em
307 plantas de sorgo forrageiro irrigadas com
308 soluções salinas com diferentes valores de
309 condutividade elétrica (**= p<0,01).
310

311 Essa característica pode estar relacionada com o efeito da absorção e transporte de
312 íons como Na⁺ e Cl⁻ para a parte aérea, associado à indução do fechamento parcial dos
313 estômatos, os quais favorecem a manutenção do estado hídrico da planta (MUNNS, 2005).

314 Como foi observado incremento nos teores de água da planta, provavelmente os
315 efeitos negativos do estresse osmótico causados pelo excesso de sais na solução do solo não
316 foram os principais responsáveis pela redução no crescimento das plantas, devendo estar mais
317 relacionado com o efeito tóxico dos íons Na⁺ e Cl⁻ acumulados em excesso nas células, como
318 observado nas folhas de sorgo forrageiro (Tabelas 5 e 6).

319
320
321

Tabela 4. Teores foliares de Na⁺ em genótipos de sorgo forrageiro submetidos à irrigação com águas salinas com diferentes valores de condutividade elétrica.

Na (g.kg ⁻¹)	CE _a (dS m ⁻¹)					
	0	2,5	5,0	7,5	10	12,5
F305	0,5 bA	0,6 bA	5,4 abA	10,6 abA	18,8 aB	14,8 aB
BRS 655	0,5 aA	1,2 aA	8,8 aA	4,3 aB	6,8 aB	9,2 aB
BRS 610	0,5 cA	0,6 cA	6,8 bcA	15,6 bA	13,1 bA	28,9 aA
Volumax	1,3 bA	1,5 bA	7,4 abA	11,5 abA	17,2 aA	17,4 aB
1.015.045	0,8 bA	0,5 bA	2,5 abA	4,5 abA	10,3 aA	12,3 aB
1.016.005	1,1 bA	1,1 bA	7,6 abA	14,8 aA	12,7 aA	10,8 abB
1.016.009	0,4 cA	0,7 cA	2,4 bA	10,9 aA	18,2 aA	16,1 aB
1.016.013	0,6 cA	1,5 cA	9,0 abA	13,0 aA	6,1 bB	15,7 aB
1.016.015	0,7 cA	2,2 bcA	8,5 abA	8,6 abB	13,0 abA	19,1 aB
1.016.031	0,4 cA	0,8 cA	3,3 bA	4,4 bB	1,6 bcB	11,1 aB

322 Colunas de mesma letra maiúscula e linhas com mesma letra minúscula não diferem
323 entre si respectivamente pelos testes de Tukey e Scott Knott à 5% de probabilidade.

324

325 De maneira geral, os teores de Na⁺ nas folhas dos genótipos de sorgo forrageiro se
326 elevaram com o aumento da salinidade (Tabela 5), no entanto, diferenças entre os genótipos

327 somente foram observadas a partir dos valores de CE_a de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$. Nesse caso, ‘BRS 610’
 328 esteve entre os genótipos com maiores teores de Na^+ para CE_a de $7,5$ e 10 dS m^{-1} e foi o que
 329 apresentou maiores teores foliares de Na^+ para CE_a de $12,5 \text{ dS m}^{-1}$.

330 Os teores foliares de Cl^- também apresentaram tendência de acréscimos com o
 331 aumento dos níveis de salinidade, sendo possível observar característica linear crescente para
 332 os genótipos ‘BRS 655’, ‘Volumax’ e ‘1.015.045’ (Tabela 6).

333

334 **Tabela 5.** Teores foliares de Cl^- em genótipos de sorgo forrageiro submetidos à irrigação com águas salinas
 335 com diferentes valores de condutividade elétrica.

Cl ($g.kg^{-1}$)	CE_a ($dS m^{-1}$)						equação de regressão	R^2
	0	2,5	5	7,5	10	12,5		
F305	3,4 cA	16,5 cA	35,1 bcA	52,6 abA	71,6 aA	70,5 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 41,6$	--
BRS 655	2,5 A	18,4 A	38,8 A	32,2 A	49,9 B	44,4 B	$\hat{y} = 3,4x + 9,78$	0,80*
BRS 610	2,7 cA	17,0 cA	28,5 bcA	77,5 aA	75,7 abA	81,7 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 47,2$	--
Volumax	4,8 A	22,2 A	54,6 A	71,7 A	78,5 A	79,9 A	$\hat{y} = 6,4x + 11,8$	0,90*
1.015.045	4,0 A	14,9 A	49,9 A	45,2 A	61,4 A	68,0 A	$\hat{y} = 5,2x + 8,1$	0,90*
1.016.005	5,7 cA	17,5 bcA	38,8 abA	58,0 aA	66,0 aA	66,1 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 42,0$	--
1.016.009	1,9 cA	17,1bcA	29,1 bcA	49,2 abA	67,3 aA	67,2 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 38,6$	--
1.016.013	1,6 cA	22,0 bcA	41,5 abA	50,3 abA	57,6 bB	72,7 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 40,9$	--
1.016.015	5,4 dA	19,7 cdA	43,4 bcA	50,4 abcA	71,6 abA	77,9 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 44,7$	--
1.016.031	2,4 bA	19,6 bA	29,7 abA	22,0 bB	28,5 bB	62,1 aA	$\hat{y} = \bar{y} = 27,4$	--

336 Colunas de mesma letra maiúscula e linhas com mesma letra minúscula não diferem entre si
 337 respectivamente pelos testes de Tukey e Scott Knott à 5% de probabilidade. *genótipos com modelos de
 338 regressão significativos de acordo com o teste t para os níveis de salinidade avaliados.

339

340 Notadamente, esses valores foram bem superiores aos teores Na^+ encontrados nas
 341 folhas de todos os genótipos. Essa característica pode estar relacionada com o fato de o sorgo
 342 forrageiro apresentar prováveis mecanismos de retenção de íons, principalmente de Na^+ , que
 343 minimizam os efeitos causados pela sua acumulação nas folhas (TRINDADE et al. 2006;
 344 BAVEI et al., 2011). Além disso, o Cl^- apresenta menor afinidade para ser retido ou
 345 adsorvido pelas partículas do solo, o que possibilita sua maior absorção pelas plantas (DIAS;
 346 BLANCO, 2010).

347 Ainda considerando os teores de Cl^- nas folhas, verificou-se que as diferenças entre os
 348 genótipos também foram observadas a partir dos valores de CE_a de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$, sendo que os
 349 menores teores foliares foram apresentados por ‘1.016.031’ para CE_a de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$, por
 350 ‘1.016.031’ e ‘1.016.013’ e BRS 655 para 10 dS m^{-1} e por BRS 655 para $12,5 \text{ dS m}^{-1}$.

351

352

353 **Conclusões**

354

355 O crescimento dos genótipos de sorgo forrageiro são similarmente afetados com o
 356 aumento da salinidade, estando relacionado principalmente ao efeito tóxico dos íons Na⁺ e Cl⁻
 357 .

358

359 **Referências**

360

361 ALBUQUERQUE, C.J.B.; PINHO, R.G.V.; BRANT, R.S.; MENDES, M.C. REZENDE,
 362 P.M. Composição da matéria seca do sorgo forrageiro em diferentes arranjos de plantas no
 363 Semiárido de Minas Gerais. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.2, n.2, p.115-125, 2009.

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

367 ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.;CAMBRAIA, J. NEVES, J.C.L.; FREIRE, M.B.G.S.;
 368 FREIRE, F.J. Seleção varietal de *Phaseolus vulgaris* quanto à tolerância ao estresse salino
 369 com base em variáveis de crescimento. **Revista Ceres**, v. 57, n.1, p. 132-139, 2010.

370 BAVEI, V.; SHIRAN, B.; ARZANI,A. Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum*
 371 *bicolor* L.) using ion accumulation, proline and peroxidase criteria. **Plant Growth**
 372 **Regulation**, v.64, n.3, p.275-285, 2011.

373 BUSO, W.H.D.; MORGADO, H.S.; SILVA, L.B.; FRANÇA, A.F.S. Utilização do sorgo
 374 forrageiro na alimentação animal. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.5,
 375 n.23, 2011.

376 CAVALCANTI, M.L.F.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; BARRO; S JR, G.; SOARES,
 377 F.A.L.; SIQUEIRA, E.C. Tolerância da momaneira BRS 149 à salinidade: germinação e
 378 características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,
 379 v.9, suppl, p.57-61, 2005.

380 COSTA, P.H.A.; AZEVEDO-NETO, BEZERRA, M.A.; PRISCO, J.T.; GOMES-FILHO, E.
 381 Antioxidant-enzymatic system of two sorghum genotypes differing in salt tolerance.
 382 **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.4, p.353-361, 2005.

383 CRUZ, J.L.; PELACANI,C.R.; COELHO,E.F.; CALDAS,R.C.; ALMEIDA, A.Q.;
 384 QUEIROZ, J.R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de

- 385 sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v.65, n.2,
386 p.275-284, 2006
- 387 CUNHA, E.E.; LIMA, J.M.P. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros
388 genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**,
389 v.39, n.4, p. 701-706, 2010.
- 390 DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H. R.; DIAS,
391 N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.
392 Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 130-141.
- 393 ESTEVES, B.S.; SUZUKI, M.S. Efeito da salinidade sobre as plantas. *Oecologia Australis*,
394 v.12, n.4, p.662-679, 2008.
- 395 FEIJÃO, A.R.; SILVA, J.C.B.; MARQUES, E.C.; PRISCO, J.T.; GOMES-FILHO, E. Efeito
396 da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. **Revista Ciência**
397 **Agrônômica**, v. 42, n.3, p. 675-683, 2011.
- 398 FERNANDES, P.D.; BRITO, M.E.B.; GHEYI, H.R.; SOARES-FILHO, W.S.; MELO, A.S.;
399 CARNEIRO, P.T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob
400 salinidade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n.2, p. 259-267, 2011.
- 401 FERREIRA, D. F. Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e
402 planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67). Lavras: DEX/UFLA, 2003.
- 403 FREIRE, J.L.O.; CAVALCANTE, L.F.; REBEQUI, A.M.; DIAS T.J.; VIEIRA, M.S.
404 Crescimento de maracujazeiro amarelo sob estresse salino e biofertilização em ambiente
405 protegido contra perdas hídricas. **Holos**, v.4, n.28, p.55-68, 2012.
- 406 GOMES, K.R.; AMORIM, A.V.; FERREIRA, F.J.; FILHO, F.L.A.; LACERDA, C.F.;
407 GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse
408 salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**
409 **e Ambiental** v.15, n.4, p.365–370, 2011.
- 410 LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. Plant growth and solute
411 accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. **Revista**
412 **Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.3, p.270-284, 2001.
- 413 LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M.A.; RUIZ, H.A. Influência do cálcio sobre o
414 crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. **Revista**
415 **Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.289-295, 2004.

- 416 LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; ALMEIDA JR,
417 A.B.; Resposta do feijão caupi à salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de**
418 **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.2, n.2, p.79-86, 2007.
- 419 MAGGIO, A. RAIMONDI, G.; MARTINO, A.; PASCALE, S.D. Salt stress response in
420 tomato beyond the salinity tolerance threshold. **Environmental and Experimental Botany**,
421 v.59, n.3, p.276–282, 2007.
- 422 MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M., FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Correção de solo
423 salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Revista**
424 **Caatinga**, v.21, n.5, p.18-25, 2008.
- 425 MIRANDA, R.S.; ALVAREZ-PIZARRO, J.C.; ARAÚJO, C.M.S.; PRISCO, J.T.; GOMES-
426 FILHO, E. Influence of inorganic nitrogen sources on K^+/Na^+ homeostasis and salt tolerance
427 in sorghum plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, n.3, p.841-852, 2013.
- 428 MISRA, N.; SAXENA, P. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under
429 salinity stress. **Plant Science**, v.177, n.3, p.181-189, 2009.
- 430 MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant**
431 **Biology**, v.59, n.1, p.651–681, 2008.
- 432 NOVAIS, R. F. ; NEVES, J. C. L. ; BARROS, N.F. . Ensaio Em Ambiente Controlado. In:
433 A.J. OLIVEIRA. (Org.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. 1nd ed. Brasília:
434 EMBRAPA, 1991 ,p. 89-253.
- 435 OLIVEIRA, A.B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na
436 agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11,
437 p.1-16, 2010.
- 438 SADEGHI, H.; SHOURIJEH, F.A. Salinity induced effects on growth parameters, chemical
439 and biochemical characteristics of two forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars. **Asian**
440 **Journal of Plant Sciences**, v. 11, n.1, p.19-27, 2012.
- 441 SANS, L.M.A.; PELLEGRIN, L.A. Método simples para estimar a área foliar da cultura do
442 sorgo In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22.1998, Recife. Globalização
443 e segurança alimentar: **Anais...** Recife: ABMS, 1998.
- 444 SANTANA, M.J.; CARVALHO, J.A.; SOUZA, K.J.; SOUSA, A.M.G.; VASCONCELOS,
445 C.L.; ANDRADE, L.A.B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e
446 desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis
447 texturais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.

- 448 SILVA, E.N.; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA,
449 J.A.G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants.
450 **Scientia Agricola**, v.68, n.1, p.62-68, 2011.
- 451 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p
- 452 TAVAKKOLI, E. PAULL, J.; RENGASAMU, P. MCDONALD, G.K. Comparing genotypic
453 variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field
454 experiments. **Field Crops Research**, v.127,n.1, p.99-108, 2012.
- 455 TRINDADE, A.R.; LACERDA, C.F.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J.T.; BEZERRA, M.A.
456 Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-
457 de-corda, ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10,
458 n.4, p.804-810, 2006.
- 459 TÜRKAN, I.; DEMIRAL, T. Recent developments in understanding salinity tolerance.
460 **Environmental and Experimental Botany**, v.67,n.1, p.2-9, 2009.
- 461 VERAS, R.P.; LAIME, E.M.; FERNANDES, P.D.; SOARES, F.A.L.; FREIRE, E.A. Altura
462 de planta, diâmetro caulinar e produção do pinhão-mansão irrigado sob diferentes níveis de
463 salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.582-587,
464 2011.
- 465 VIEIRA, M.R.; LACERDA, C.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; CARVALHO, P.L.; COSTA, R.N.T.;
466 TABOSA, J.N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigado com águas salinas.
467 **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, suppl, p.42-46, 2005.
- 468 WILLADINO, L.; MARTINS, M.H.B.; CAMARA, T.R.; ANDRADE, A.G.; ALVES, G.D.
469 resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. **Scientia**
470 **Agricola**, v.56, n.4, p.1209-1213, 1999.
- 471 WU, J.; SELISKAR, D.M.; GALLAGHER, J.L. The response of plasma membrane lipid
472 composition in callus of the halophyte *Spartina patens* (Poaceae) to salinity stress. **American**
473 **Journal of Botany**, v.92, n.5, p.852-858,2005.
- 474
- 475

4. ARTIGO 2:

Trocas gasosas e solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob diferentes níveis de salinidade¹

Gas exchange and organic solutes content in genotypes of forage sorghum under salinity

RESUMO- Para resistir ao estresse salino, as plantas desenvolvem mecanismos que minimizam os efeitos tóxicos de íons sobre processos vitais como a fotossíntese. No entanto, essa capacidade de adaptação a ambientes salinos pode variar significativamente entre genótipos. O objetivo desse trabalho foi avaliar as trocas gasosas, os teores de clorofila e de solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com soluções de diferentes níveis de salinidade. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, em Petrolina – PE. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados dispostos em esquema fatorial 10x6, considerando dez genótipos: ‘F305’, ‘BRS 655’, ‘BRS 610’, ‘Volumax’, ‘1.015.045’, ‘1.016.005’, ‘1.016.009’, ‘1.016.013’, ‘1.016.015’ e ‘1.016.031’; e soluções salinas com seis níveis de salinidade definidos por valores de condutividade elétrica (CE_a): 0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹, utilizando três repetições. Foram avaliados as trocas gasosas, os índices de clorofila a e b, teores de açúcares solúveis totais e redutores, aminoácidos livres e proteínas solúveis. Com o aumento da salinidade foram observadas reduções nas taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração e concomitante aumento na eficiência do uso da água. Os índices de clorofila e teores de proteínas não foram afetados com a salinidade, enquanto que os teores de açúcares totais, redutores e aminoácidos foram crescentes com o aumento da CE_a. Devido a sua concentração nas folhas, os açúcares solúveis devem exercer papel predominante na osmorregulação dos genótipos de sorgo forrageiro.

Palavras-chave: salinidade, fotossíntese, clorofila, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

ABSTRACT - To resist salt stress, plants develop mechanisms that minimize the toxic effects of ions on vital processes like photosynthesis. However, this ability to adapt to saline environments may vary significantly between genotypes. The aim of this study was to evaluate gas exchange, the contents of chlorophyll and organic solutes in ten genotypes of sorghum irrigated with solutions of different salinity levels. Research was conducted in a

¹Artigo nas normas da revista Ciência Agronômica

33 greenhouse of the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiarid, in
34 Petrolina-PE. The treatments were arranged in a randomized block design according to a
35 factorial arrangement 10x6 considering ten genotypes: ‘F305’, ‘BRS 655’, ‘BRS 610’,
36 ‘Volumax’, ‘1,015,045’, ‘1,016,005’, ‘1,016,009’, ‘1,016,013’, ‘1,016,015’ and ‘1,016. 031’;
37 and salt solutions with six levels of: electrical conductivity (CE_a): 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10 and 12.5
38 $dS\ m^{-1}$, using three replications. We evaluated gas exchange rates of chlorophyll a and b,
39 carbohydrates, amino acids and soluble proteins contents. With increasing salinity were
40 observed reductions in the photosynthesis rate, stomatal conductance and transpiration and
41 concomitant increase in the efficiency of water use. The contents of chlorophyll and proteins
42 were not affected by salinity, whereas carbohydrates and amino acids contents were increased
43 with increasing CE_a . Due to its concentration in the leaves, soluble carbohydrates must
44 exercise a predominant role in osmoregulation of forage sorghum genotypes.

45 **Key words:** salt stress, photosynthesis, chlorophyll, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

46

47

INTRODUÇÃO

48 As regiões áridas e semiáridas apresentam características edafoclimáticas tais como
49 baixa precipitação, altas taxas de evapotranspiração e ocorrência de solos rasos e mal
50 drenados, os quais favorecem a acumulação de sais no solo e nas fontes hídricas disponíveis
51 (MEDEIROS *et al.*, 2010).

52 Nessas regiões, a utilização de espécies tolerantes a salinidade pode ser considerada
53 uma alternativa viável para produção agrícola, onde muitas vezes esse problema é inevitável.
54 A capacidade das plantas em tolerar o excesso de sais está relacionada aos diferentes
55 mecanismos que são desenvolvidos para minimizar seus efeitos negativos sobre o
56 metabolismo (PARVAIZ; SATYAWATI, 2008).

57 Esses efeitos são atribuídos principalmente aos íons Na^+ e Cl^- sobre processos
58 fisiológicos importantes das plantas e à redução do potencial osmótico do solo, a qual pode
59 induzir condições de estresse hídrico (CRUZ *et al.*, 2009), além do desequilíbrio nutricional
60 causado pela redução na absorção e transporte de nutrientes essenciais à planta, ao competir
61 com os íons que se encontram em excesso no solo (BOSCO *et al.*, 2009).

62 Como consequência, as plantas podem reduzir a sua taxa fotossintética devido à redução
63 da condutância estomática, limitando a disponibilidade de CO_2 ou por interferir na síntese de
64 pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas (JAMIL *et al.*, 2007); além de apresentar

65 perturbações no sistema enzimático responsável pela produção e distribuição de
66 fotoassimilados (MUNNS; TESTER, 2008),

67 Para lidar com os efeitos nocivos do estresse salino, as plantas tolerantes desenvolvem
68 mecanismos bioquímicos e moleculares, como a acumulação seletiva de sal ou sua exclusão
69 da célula, controle da absorção de íons pelas raízes e transporte em folhas e/ou
70 compartimentalização desses íons nos vacúolos, além da síntese e acumulação de compostos
71 orgânicos mais conhecidos como solutos compatíveis (PARIDA; DAS, 2005).

72 O acúmulo de solutos compatíveis varia com o organismo e mesmo entre espécies de
73 plantas sendo principalmente agrupados em açúcares simples (principalmente frutose e
74 glicose), álcoois de açúcar (glicerol e inosítois metilados), açúcares complexos (trealose,
75 rafinose e frutanos) e quaternários derivados de aminoácidos (prolina, glicina betaína, betaína
76 β -alanina) (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

77 De modo geral, o conjunto dos aminoácidos livres totais e dos açúcares solúveis
78 representam quantitativamente os solutos orgânicos mais importantes no ajustamento
79 osmótico para manutenção do estado hídrico em níveis aceitáveis durante o estresse salino,
80 além de conferir proteção às estruturas celulares (SILVEIRA *et al.*, 2010).

81 O sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench.] é uma gramínea que apresenta mecanismo C₄,
82 sendo considerada uma das espécies mais versáteis e eficientes do ponto de vista
83 fotossintético (BERENGUER; FACI, 2001), o que contribui para sua maior resistência à
84 salinidade.

85 No entanto, tem sido verificada a ocorrência de variabilidade genética no sorgo
86 forrageiro em relação à tolerância ao estresse salino, o que tem refletido em respostas
87 fisiológicas contrastantes entre esses genótipos.

88 Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da salinidade sobre as trocas
89 gasosas e os teores de solutos orgânicos em dez genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com
90 soluções de diferentes níveis de salinidade.

91

92

MATERIAL E MÉTODOS

93 O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada na sede da Empresa
94 Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, em Petrolina – PE (9°9' S;
95 40°22' W). Foram selecionados dez genótipos de sorgo forrageiro 'F305', 'BRS 655', 'BRS

96 610', 'Volumax', '1.015.045', '1.016.005', '1.016.009', '1.016.013', '1.016.015' e
97 '1.016.031', pertencentes ao banco de germoplasma da Embrapa Milho e Sorgo.

98 As sementes desses genótipos foram semeadas em vasos plásticos com capacidade para
99 8 litros, preenchidos com solo peneirado em malha de 4 mm, classificado como ARGISSOLO
100 AMARELO Distrófico latossólico. A coleta do solo foi realizada na camada de 0 a 0,2 m,
101 sendo suas características químicas e físicas apresentadas na tabela 1 a seguir.

102

103 **Tabela 1-**Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de genótipos
104 de sorgo forrageiro sob salinidade.

M.O	pH H ₂ O	C.E.	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	T
g kg ⁻¹	(1:2,5)	dS m ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
4,14	5,7	0,74	1,4	1,9	0,03	0,28	0,05	5,92
P	V	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
mg dm ⁻³	%	-----mg dm ⁻³ -----			-----g kg ⁻¹ -----			
7,2	61	0,3	23,2	19,6	1,0	846,4	135,1	17,9

105 CE: condutividade elétrica do extrato de saturação; MO: matéria orgânica; P: fósforo disponível extraído por Mehlich-1; Ca²⁺:
106 cálcio trocável; Mg²⁺: Magnésio trocável; Na⁺: sódio trocável; K⁺: potássio trocável; Al³⁺: acidez trocável; T: capacidade de troca de
107 cátions à pH 7,0; V: saturação por bases; Fe: ferro disponível; Mn: manganês disponível; Cu: cobre disponível; Zn: zinco
108 disponível. Micronutrientes extraídos com Mehlich⁻¹

109

110 Para controle da drenagem, foi colocada uma camada de brita de aproximadamente dois
111 centímetros no fundo dos vasos, sendo estes perfurados e conectados a mangueiras coletoras.

112 Duas semanas após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por
113 vaso, e iniciadas as irrigações com as soluções salinas com os seguintes valores de CE_a: 0;
114 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹. As soluções foram preparadas a partir dos sais NaCl,
115 CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O, de modo a se obter proporção equivalente entre Na:Ca:Mg de
116 7:2:1 (AQUINO *et al.*, 2007).

117 O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados dispostos em
118 esquema fatorial 10x6, considerando dez genótipos de sorgo forrageiro e água salina com seis
119 valores de condutividade elétrica (CE_a), compostos por três repetições.

120 Para corrigir eventuais carências nutricionais do solo foram feitas aplicações de solução
121 nutritiva preparada a partir de valores recomendados por Novais *et al.* (1991) para
122 experimento em casa de vegetação. Foram utilizados 5,4; 4,4 e 4,5 g por vaso de NaH₂PO₄,
123 KH₂PO₄ e (NH₄)₂SO₄, e 28; 31,5; 1,6; 67,5; 10,6; 3,0 e 4,0 mg por vaso de H₃BO₃,
124 CuSO₄.5H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, MnSO₄.H₂O, ZnSO₄.7H₂O, FeSO₄.7H₂O e Na₂EDTA,
125 respectivamente. A quantidade de nutrientes foi parcelada em três aplicações a cada vinte
126 dias, iniciada após o desbaste.

127 As irrigações foram realizadas de forma a manter a umidade do solo próximo à
128 capacidade de campo e evitar o acúmulo de sais. Os vasos foram irrigados a cada dois dias, de
129 forma a manter uma fração de lixiviação de aproximadamente 15%.

130 Após 60 dias de estresse salino foram determinadas as trocas gasosas e os índices de
131 clorofila a e b, sendo posteriormente coletadas e congeladas em nitrogênio líquido as folhas
132 +3 das plantas para posterior análise dos teores de açúcares solúveis totais, açúcares
133 redutores, aminoácidos totais e proteínas solúveis.

134 As trocas gasosas foram avaliadas a partir do Analisador Portátil de Gás Infravermelho
135 (IRGA), modelo Li-6400, utilizando luz artificial fixada em $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As variáveis
136 analisadas foram: taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e
137 temperatura foliar (Tf), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do
138 uso da água(A/ g_s). Os índices de clorofila a e b foram determinados a partir de leituras
139 realizadas em três pontos da folha +3, utilizando o ClorofiLOG CFL 1030.

140 Para extração de solutos orgânicos foi realizada a maceração das folhas frescas na
141 presença de tampão fosfato (1,0 M) ajustado para pH 7,0. Em seguida o material foi
142 centrifugado a 2.000g, coletando-se o sobrenadante para as posteriores análises.

143 Os açúcares solúveis totais (AST) foram determinados de acordo com o método da
144 Antrona (YEMM; WILLIS, 1954) e os açúcares redutores (AR) quantificados a partir da
145 utilização do ácido 3,5 dinitrossalicílico (MILLER, 1959). As curvas padrões foram obtidas
146 com soluções de glicose, sendo posteriormente realizadas leituras em espectrofotômetro UV
147 nos comprimentos de onda de 620 e 540 nm para AST e AR, respectivamente.

148 Os aminoácidos livres totais (AA) foram determinados através do ensaio da ninhidrina
149 (YEMM; COCKING, 1955), utilizando glicina como padrão de referência. As proteínas
150 solúveis (PRO) foram quantificadas a partir de curva padrão preparada com soluções de
151 Albumina Sérica Bovina (BSA), como descrito por Bradford (1976). As curvas foram
152 ajustadas a partir de leituras espectrofotométricas nos comprimentos de onda de 570 e 595 nm
153 para AA e PRO, respectivamente.

154 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o programa Sisvar
155 5.0 (FERREIRA, 2003). Para os casos em que o fator CE_a foi significativo foram selecionados
156 modelos de regressão testados a 1% de probabilidade que apresentaram maior coeficiente de
157 determinação (R^2). Para comparação entre os genótipos foi realizado o teste de Scott Knott a
158 5% de probabilidade.

159

RESULTADOS E DISCUSSÃO

160 Os resultados da análise de variância demonstraram que as variáveis não apresentaram
 161 interação significativa entre os fatores (Tabela 2), o que possibilita uma análise independente
 162 entre os genótipos e entre os níveis de salinidade (CE_a). Nesse caso, foi observado que os
 163 valores de CE_a proporcionaram efeitos significativos sobre as trocas gasosas e os teores
 164 foliares de solutos orgânicos, não influenciando os teores de clorofila a e b dos genótipos de
 165 sorgo forrageiro.

166 Considerando as trocas gasosas entre os genótipos de sorgo forrageiro (Tabela 3),
 167 verificou-se que não houve diferença nas taxas de fotossíntese apresentadas pelos mesmos,
 168 com exceção de 'F305' que se mostrou inferior aos demais.

169

170 **Tabela 2-**Resultado da análise de variância (ANAVA) para trocas gasosas, teores de solutos
 171 orgânicos e índices de clorofila a e b entre genótipos, condutividade elétrica das soluções
 172 salinas (CE_a) e interação genótipos X CE_a .

	Quadrado Médio					
	A	g_s	E	T_f	A/E	A/ g_s
Genótipos	265,6**	0,021**	6,01**	0,49*	34,5 ^{ns}	35.414 ^{ns}
CE_a	1.506,9**	0,106**	30,27**	2,57**	128,4*	119.192**
Genótipos X CE_a	64,6 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,35 ^{ns}	38,3 ^{ns}	33.537 ^{ns}
Resíduo	73,9	0,005	1,27	0,21	38,9	33.874
C.V. (%)	34,7	58,5	41,5	1,45	60,6	72,7
	AST	AR	PRO	AA	clorofila a	clorofila b
Genótipos	1.051,4*	6,67**	27,8**	6,61**	117,8**	59,5**
CE_a	1.785,6**	1,28 ^{ns}	72,2*	41,1**	37,7 ^{ns}	4,28 ^{ns}
Genótipos X CE_a	577,1 ^{ns}	2,38 ^{ns}	8,7 ^{ns}	2,52 ^{ns}	22,6 ^{ns}	7,93 ^{ns}
Resíduo	546,6	1,92	8,5	1,04	19,0	7,46
CV (%)	62,6	44,8	45,4	41,0	16,1	28,4

173 A= taxa de fotossíntese; g_s = condutância estomática; E= transpiração; T_f = temperatura foliar; A/E= eficiência
 174 instantânea do uso da água; A/ g_s = eficiência intrínseca do uso da água; AST=teores de açúcares solúveis totais;
 175 AR=açúcares redutores; PRO=proteínas solúveis; AA=aminoácidos totais. ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$ e ^{ns}= não
 176 significativo.

177

178 As menores taxas de fotossíntese do genótipo F305 podem estar relacionadas a uma
 179 limitação na abertura dos estômatos, evidenciada pela menor condutância estomática, o que
 180 ocasionou menores perdas de água por transpiração.

181 O fechamento estomático é um mecanismo adaptativo das plantas para evitar perdas
 182 excessivas de água principalmente sob condições de estresse. No entanto, ao interferir na

183 atividade fotossintética, limitando a entrada de CO₂ pelo poro estomático, esse mecanismo
 184 pode ocasionar redução na produção de fotoassimilados, refletindo no crescimento e
 185 produtividade, como observado em culturas de sorgo sudão (FEIJÃO *et al.*, 2011), bananeira-
 186 prata (NEVES *et al.*, 2002) e feijão-de-corda (NEVES *et al.*, 2009).

187

188

Tabela 3-Trocas gasosas em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro.

	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	A/E	A/ g_s
F305	16,0 b	0,061b	1,57 c	31,8 a	9,7 a	258,6 a
BRS 655	27,8 a	0,158 a	3,41 a	31,5 b	8,8 a	202,2 a
BRS 610	29,3 a	0,150 a	3,18 a	31,3 b	9,2 a	207,0 a
Volumax	25,0 a	0,116 b	2,64 b	31,6 a	10,8 a	264,1 a
1.015.045	28,1 a	0,179 a	3,56 a	31,3 b	8,3 a	186,5 a
1.016.005	22,0 a	0,097 b	2,21 b	31,6 a	12,3 a	315,8 a
1.016.009	23,8 a	0,111 b	2,53 b	31,8 a	9,7 a	240,9 a
1.016.013	26,5 a	0,136 b	2,88 b	31,6 a	10,7 a	262,7 a
1.016.015	23,9 a	0,110 b	2,46 b	31,7 a	11,1 a	280,6 a
1.016.031	26,3 a	0,127 b	2,81 b	31,7 a	12,3 a	312,1 a

189 A= taxa de fotossíntese; g_s = condutância estomática; E= transpiração; T_f = temperatura foliar; A/E=
 190 eficiência instantânea do uso da água; A/ g_s = eficiência intrínseca do uso da água. Colunas de mesma
 191 letra não diferem entre os genótipos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

192

193 Porém, esse fato não foi observado em F305 provavelmente devido a sua maior área
 194 foliar (dados não apresentados) que pode ter promovido um efeito compensatório na produção
 195 de fotoassimilados, pela maior área destinada à fotossíntese.

196 Com exceção de F305, os valores médios de taxa de fotossíntese apresentados pelos
 197 genótipos foram próximos ao comumente encontrados para sorgo forrageiro. Miranda *et al.*
 198 (2013) observaram que as taxas de fotossíntese em sorgo forrageiro estiveram entre 25 e 35
 199 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, não havendo alterações significativas nesses valores após aplicação de soluções
 200 salinas de 75 mM por três e sete dias.

201 Kakani *et al.* (2011) verificaram que plantas de sorgo granífero, quando não submetidas
 202 a estresses ambientais, podem apresentar taxas de fotossínteses variando entre 35 e 45 μmol
 203 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Intervalo similar foi observado em trabalho de Xie e Su (2012) com folhas de sorgo
 204 sacarino nos horários de maior pico de radiação, sem estresse evidente.

205 Os genótipos ‘BRS 655’, ‘BRS 610’ e ‘1.015.045’ apresentaram maiores valores de
 206 condutância estomática, o que proporcionou maiores taxas de transpiração e
 207 conseqüentemente menor temperatura foliar. No entanto, valores mais elevados da

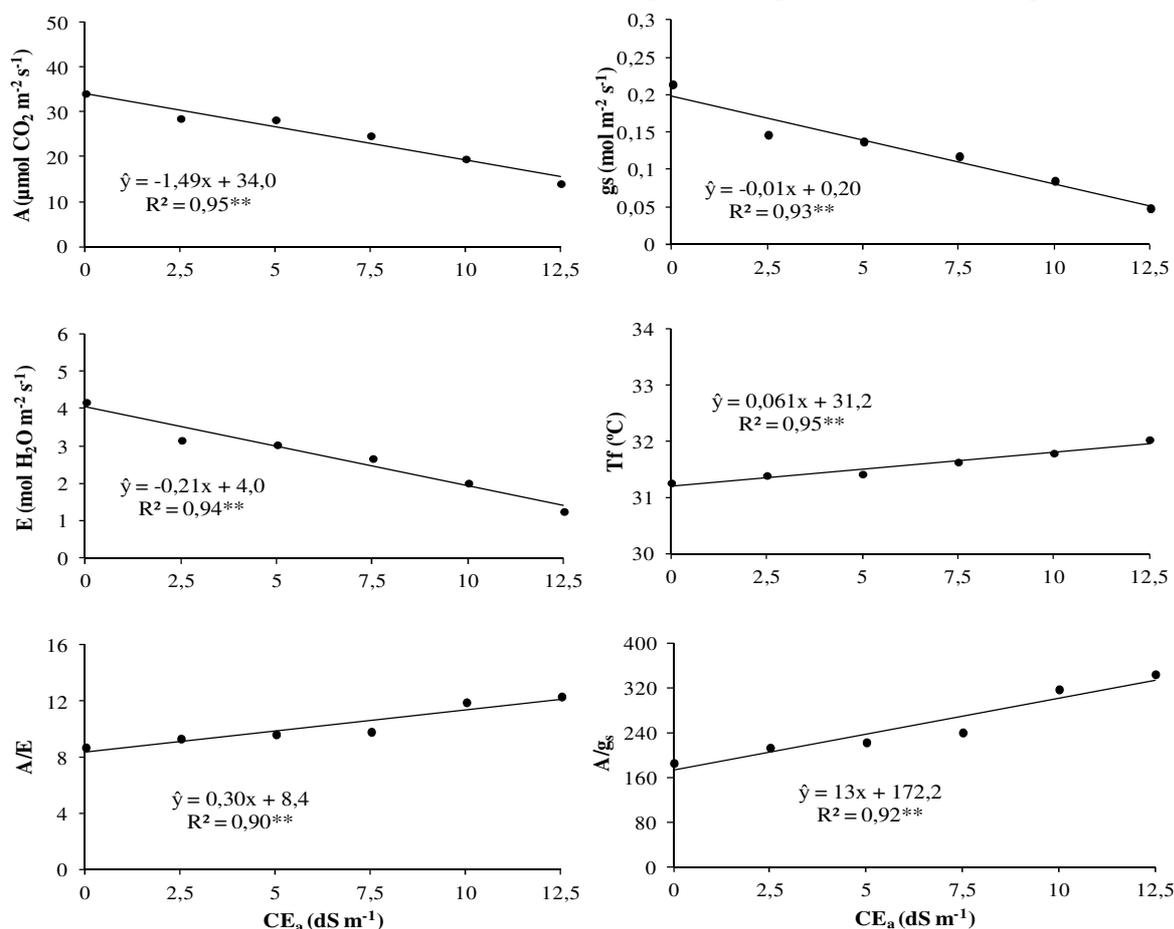
208 condutância estomática desses genótipos não foram acompanhados por incremento
209 significativo nas taxas de fotossíntese.

210 Apesar de haver diferenças nos valores de A, g_s e E entre genótipos, não foram
211 verificadas diferenças entre eles quanto às eficiências instantânea (A/E) e intrínseca (A/ g_s) do
212 uso da água.

213 Considerando o efeito da salinidade sobre as trocas gasosas, verificou-se a ocorrência de
214 reduções lineares na taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E)
215 com o aumento da CE_a (Figura 1).

216

217 **Figura 1**-Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), temperatura
218 foliar (Tf), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água
219 (A/ g_s) em plantas de sorgo forrageiro após 60 dias de irrigação com águas salinas com
220 diferentes valores de condutividade elétrica. **Regressão significativa a 1% de probabilidade.



221

222

223 Segundo Silva *et al.* (2011) a exposição prolongada aos sais acarreta não somente
224 alterações no status hídrico das plantas, induzindo o fechamento estomático e
225 consequentemente a limitação na entrada de CO_2 , mas também, altas concentrações de íons

226 como o Na^+ e Cl^- tem sido apontadas como principais causadoras de danos às estruturas de
227 enzimas e membranas, interferindo diretamente na fotossíntese.

228 Reduções na condutância estomática, com conseqüente queda nas taxas de fotossíntese
229 e transpiração também foram verificadas em pinhão manso (SOUSA *et al.*, 2012), videira
230 (VIANA *et al.*, 2001), feijão (SOUZA *et al.* 2011).

231 Ainda na Figura 1, verificou-se que apesar de haver redução de A , g_s e E com a
232 salinidade, houve um aumento gradativo nas eficiências instantânea (A/E) e intrínseca do uso
233 da água (A/g_s) com o aumento da CE_a , o que demonstra uma capacidade de adaptação ao
234 estresse salino para tentar manter uma taxa de fotossíntese favorável, mesmo em situações em
235 que há limitações na absorção de água.

236 Esse fato pode estar relacionado ao metabolismo C_4 desenvolvido pelas plantas de sorgo
237 forrageiro, o que confere altas taxas de fotossíntese em condições onde há redução temporária
238 na disponibilização de CO_2 com o fechamento estomático (TAIZ; ZEIGER, 2013).

239 Fernandes *et al.* (2010) afirmam que plantas que apresentam maior eficiência do uso da
240 água podem apresentar maior tolerância à salinidade não somente devido à maior regulação
241 das perdas de água, como também por haver o retardamento na acumulação de sais nas folhas
242 ao limitar o fluxo de sais para a parte aérea devido a menor taxa transpiratória.

243 Em relação aos índices de clorofila a e b, apenas foram verificadas diferenças entre
244 genótipos, demonstrando ser uma característica intrínseca dos mesmos e não relacionada com
245 o efeito de sais sobre as plantas (Figura 2).

246 Nesse caso, os genótipos 'BRS 655', 'BRS 610', '1.016.013' e '1.016.031'
247 apresentaram os maiores índices de clorofila a e b, enquanto que os menores valores foram
248 apresentados pelo genótipo 'F305', o qual obteve a menor taxa de fotossíntese. Essa relação
249 direta entre os teores de clorofila e atividade fotossintética foi constatada por Priori *et al.*
250 (2003).

251 Segundo Morais (2007), as clorofilas a e b formam complexos de clorofila-proteína, os
252 quais são importantes para regulação e organização dos fotossistemas, essenciais na produção
253 de energia química utilizada na síntese de fotoassimilados.

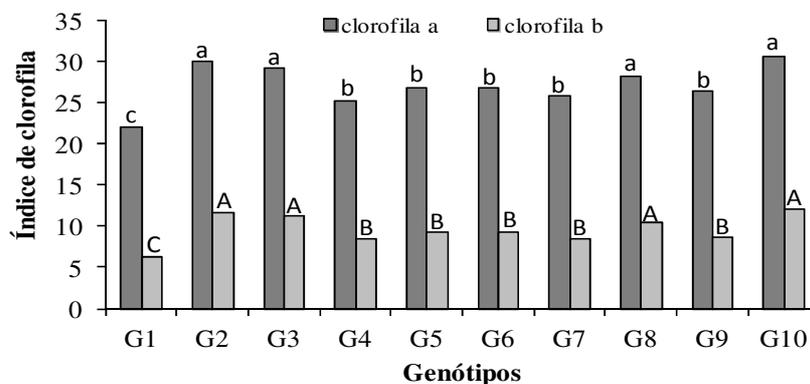
254

255

256

257

258 **Figura 2-** Índice de clorofila a e b em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro: ‘F305’
 259 (G1), ‘BRS 655’ (G2), ‘BRS 610’ (G3), ‘Volumax’ (G4), ‘1.015.045’ (G5), ‘1.016.005’ (G6),
 260 ‘1.016.009’ (G7), ‘1.016.013’ (G8), ‘1.016.015’ (G9) e ‘1.016.031’(G10). Colunas de
 261 mesmas letras minúscula e maiúscula não diferem entre genótipos respectivamente para os
 262 índices de clorofila a e b, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.
 263



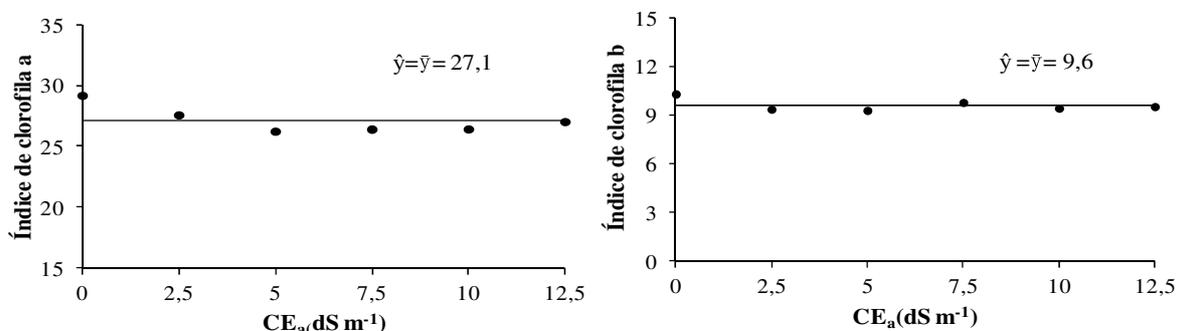
264
 265

266 Como os índices de clorofila a e b não foram influenciados pelos níveis de salinidade
 267 (Figura 3), pode-se pressupor a existência de um mecanismo adaptativo dessa espécie para
 268 evitar a degradação desses pigmentos a partir do efeito de íons tóxicos como o Na^+ e Cl^- .
 269 Jamil et al. (2007) afirmam que normalmente ocorre redução nos teores de clorofila em
 270 plantas sensíveis à salinidade, enquanto que ocorre o inverso em plantas mais tolerantes.

271 Graciano *et al.* (2011) verificaram que houve incremento nos índices de clorofila de
 272 folhas de amendoim com o aumento da salinidade, sendo relacionado como um mecanismo
 273 compensatório para manter o crescimento e produção ao possibilitar o aumento da eficiência
 274 fotossintética.

275

276 **Figura 3-** Índice de clorofila a e b em folhas de sorgo forrageiro submetidos à irrigação com
 277 águas salinas com diferentes valores de condutividade elétrica. Para regressão não
 278 significativa ($p > 0,05$) adotou-se $\hat{y} = \bar{y}$.



279
 280
 281

282 Com exceção dos açúcares solúveis totais (AST), os teores de solutos orgânicos nas
 283 folhas variaram com o genótipo, independente dos níveis de salinidade (Tabela 4),
 284 provavelmente associada à diferenciação genética dos mesmos.

285 Nesse caso, os teores de açúcares redutores (AR) dos genótipos 'F305', 'Volumax',
 286 1.015.045', '1.016.009' e '1.016.015' foram superiores aos demais, enquanto que os maiores
 287 teores de aminoácidos foram verificados nos genótipos 'BRS 610', '1.015.045', '1.016.005',
 288 '1.016.013', '1.016.015' e '1.016.031'. Já os genótipos 'BRS 610', '1.016.013' e '1.016.031'
 289 foram os que apresentaram os maiores teores de proteínas totais.

290

291 **Tabela 4-** Solutos orgânicos em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro.

	AR	AST	AA	PRO
	-----mg g ⁻¹ -----			
F305	8,0 a	57,5 a	2,1 b	2,7 b
BRS 655	4,1 b	30,5 a	2,6 b	2,9 b
BRS 610	5,5 b	32,5 a	3,4 a	3,4 a
Volumax	8,3 a	37,1 a	2,7 b	2,5 b
1.015.045	6,8 a	31,8 a	3,4 a	2,2 b
1.016.005	6,2 b	36,3 a	3,4 a	2,9 b
1.016.009	7,0 a	38,8 a	2,8 b	3,1 b
1.016.013	6,0 b	39,0 a	4,0 a	4,0 a
1.016.015	6,7 a	34,2 a	3,4 a	2,9 b
1.016.031	5,4 b	35,6 a	3,9 a	4,1 a

292 AR= açúcares redutores; AST= açúcares solúveis totais; AA= aminoácidos totais; PRO= proteínas solúveis.

293 Colunas de mesma letra não diferem entre os genótipos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

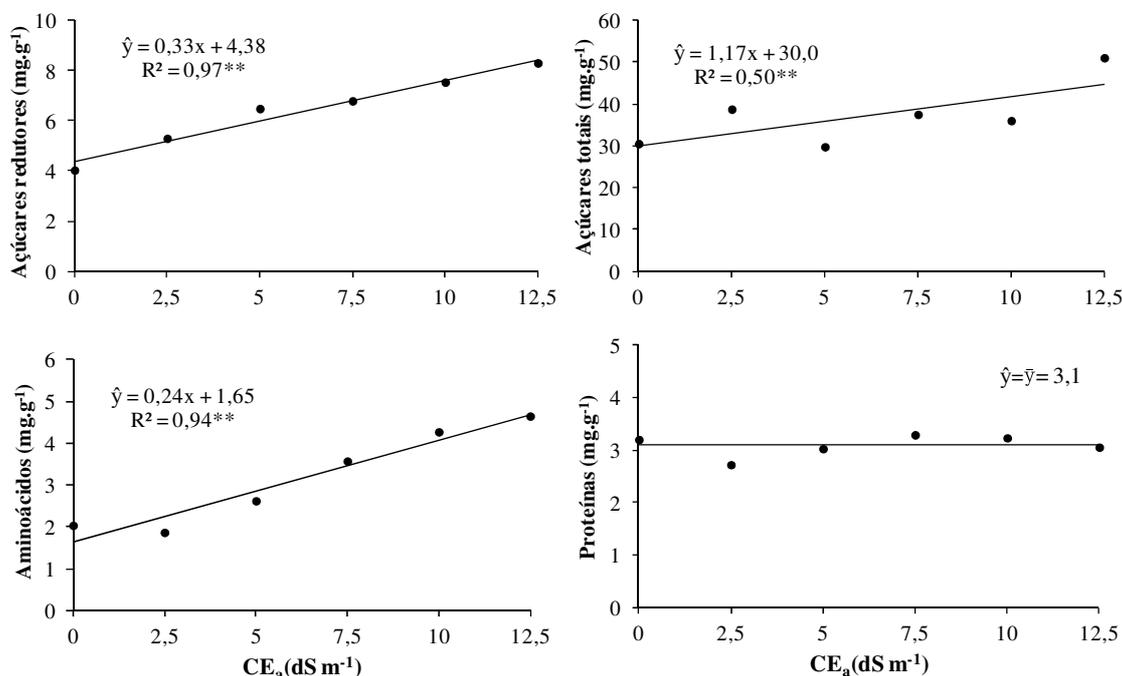
294

295 Com o aumento da salinidade foi observado que houve aumento gradativo nos teores de
 296 AST, AR e AA, independente do genótipo (Figura 4), não sendo verificadas alterações nos
 297 teores de proteínas solúveis para essas mesmas condições.

298 Os incrementos observados foram de 106% para AR, 67% para AST e 129% para AA
 299 quando comparou-se o maior nível de salinidade com o tratamento não salino. No entanto,
 300 quando se observou os valores brutos dos teores desses solutos nas folhas, verificou-se o
 301 predomínio de AST em relação aos demais.

302 Os teores mais elevados de AST corroboram com os resultados encontrados por
 303 Lacerda *et al.* (2001) em genótipos de sorgo forrageiro expostos à salinidade, respaldando o
 304 papel predominante dos açúcares solúveis no ajustamento osmótico de células foliares dessa
 305 espécie.

306 **Figura 4-** Açúcares redutores, açúcares solúveis totais, aminoácidos totais e proteínas
 307 solúveis. **Regressão significativa a 1% de probabilidade. Para regressão não significativa
 308 ($p > 0,05$) adotou-se $\hat{y} = \bar{y}$.



309
310

311 Nesse caso, verifica-se que os açúcares não redutores provavelmente são os que
 312 exercem maior função osmorreguladora, tendo em vista que os valores de AR fazem parte de
 313 uma pequena parcela nos teores de AST.

314 O aumento dos teores de açúcares pode estar relacionado a diversos fatores. Bezerra et
 315 *al.* (2003) afirmam que a atividade fotossintética é menos sensível ao estresse salino do que o
 316 crescimento (BEZERRA *et al.*, 2003), o que promove uma produção de fotoassimilados extra,
 317 que não é prontamente utilizada pela planta e conseqüentemente se acumula como soluto
 318 compatível. Paul e Foyer (2001) afirmam que também ocorre indução na quebra de
 319 macromoléculas como o amido, devido à intensificação da atividade de amilases nas células
 320 foliares, o que ocasiona a liberação de açúcares.

321 Apesar de apresentar um aumento percentual superior aos demais solutos orgânicos com
 322 a salinidade, os acréscimos nos teores dos aminoácidos totais não foram suficientes para
 323 representar seu papel na osmorregulação das células foliares como ocorreu com os açúcares
 324 solúveis, o que demonstra que sua função pode estar mais relacionada com a proteção de
 325 estruturas celulares (MUNNS, 2005).

326 O aumento dos teores foliares de aminoácidos com a salinidade também foram
327 verificados por Feijão *et al.* (2011) para sorgo sudão e por Lacerda *et al.* (2001) para dois
328 genótipos de sorgo forrageiro.

329 Por outro lado, o efeito da salinidade sobre os teores de proteínas solúveis em folhas de
330 sorgo forrageiro difere dos encontrados por Sadeghi e Shourijeh (2012), os quais observaram
331 acréscimos significativos com o aumento das concentrações das soluções salinas.

332 Essas diferenças podem estar relacionadas a características intrínsecas dos genótipos,
333 podendo ocasionar respostas diferenciadas entre os teores de açúcares, aminoácidos e
334 proteínas com o aumento da salinidade, como observado por Oliveira *et al.* (2006),
335 trabalhando com dez genótipos de sorgo forrageiro.

336 CONCLUSÕES

- 337 1. O aumento da salinidade influencia diretamente a redução na atividade fotossintética de
338 genótipos de sorgo forrageiro.
- 339 2. O aumento da eficiência do uso da água representa um dos mecanismos de adaptação às
340 condições de estresse salino nos genótipos de sorgo forrageiro.
- 341 3. Os teores de clorofila em folhas de sorgo forrageiro não são afetados pela salinidade.
- 342 4. O acúmulo de açúcares solúveis, principalmente os não redutores, exercem papel
343 predominante na osmorregulação em folhas de sorgo forrageiro.

344 REFERÊNCIAS

- 345 AQUINO, A.J.S.; LACERDA, C.F.; GOMES-FILHO, E. Crescimento, partição de matéria
346 seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas.
347 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, n.5, p.961-971, 2007.
- 348 BERENGUER, M.J.; FACI, J.M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation
349 processes under different plant densities and variable water supply. **European Journal of**
350 **Agronomy**. v.15, p.43-55, 2001.
- 351 BEZERRA, M.A. *et al.* Fotossíntese de plantas de cajueiro-anão precoce submetidas ao
352 estresse salino. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v.47,
353 n.__, p.149-152, 2003.
- 354 BOSCO, M.R.O. *et al.* Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela.
355 **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p.157-164, 2009.

- 356 BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram
357 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**,
358 v.72, n.1/2, p.248-254, 1976.
- 359 FEIJÃO, A.R. *et al.* Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à
360 salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n.3, p. 675-683, 2011.
- 361 FERNANDES, P.D. *et al.* **Biossalinidade e produção agrícola**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N.
362 S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.
363 Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p.303-317, 2010.
- 364 FERREIRA, D. F. Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e
365 planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67). Lavras: DEX/UFLA, 2003.
- 366 GRACIANO, E.S.A *et al.* Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim
367 BR 1 sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,
368 v.15, n,8, p.794-800, 2011.
- 369 JAMIL, M. *et al.* Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in
370 radish. **Scientia Agricola**, v.64, n.2, p.111-118, 2007.
- 371 LACERDA, C.F. *et al.* Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum
372 genotypes, under NaCl stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.3, p.270-284,
373 2001.
- 374 KAKANI, V.G. *et al.* Leaf photosynthesis and carbohydrates of CO₂-enriched maize and
375 grain sorghum exposed to a short period of soil water deficit during vegetative development.
376 **Journal of Plant Physiology**, v.168, p.2169-2176, 2011.
- 377 LACERDA, C.F. *et al.* **Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura**. In:
378 GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos
379 básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade,
380 p.303-317, 2010.
- 381 MEDEIROS, J.F.; NASCIMENTO, I.B. GHERY, H.R. **Manejo do solo-água-plantas em**
382 **área afetadas por sais**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da
383 salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de
384 Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 280-302.
- 385 MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.
386 **Analytical Chemistry**, v.31, p.426-428, 1959.
- 387 MIRANDA, R. S. *et al.* Influence of inorganic nitrogen sources on K⁺/Na⁺ homeostasis and
388 salt tolerance in sorghum plants. **Acta Physiologia Plant**, v.35, p.841-852, 2013.

- 389 MORAIS, R. R. *et al.* Chloroplastid pigment contents and chlorophyll a fluorescence in
390 amazonian tropical three species. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p.959-966, 2007.
- 391 MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v. 167, n.
392 03, p.45-663, 2005.
- 393 MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant**
394 **Biology**. v.59, p.651-681, 2008.
- 395 NEVES, A.L.R. *et al.* Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com
396 água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
397 **Ambiental**, v.13, supl.0, p.873-881, 2009.
- 398 NEVES, L.L.M. *et al.* Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira-prata,
399 submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de**
400 **Fruticultura**, v.24, n.2, p.524-529, 2002.
- 401 OLIVEIRA, A.B.; GOMES-FILHO,E.; ENÉAS-FILHO,J. O problema da salinidade na
402 agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, Centro
403 Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, p.1-16, 2010.
- 404 OLIVEIRA, L.A.A. *et al.* Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse
405 salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.31-35, 2005.
- 406 PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review.
407 **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, p.324-349, 2005.
- 408 PARVAIZ, A.; SATYAWATI, S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants – a
409 review. **Plant Soil and Environmental**, v.54, n.3, p.89-99, 2008.
- 410 PAUL, M.J.; FOYER, C.H. Sink regulation for photosynthesis. **Journal of Experimental**
411 **Botany**, v.52, p.1383-1400, 2001.
- 412 PRIORI, L.D.; EAMUS,D.; BOWNAN, D.M.J.S. Leaf attributes in the seasonally dry tropics:
413 a comparison of four habitats in northern Austrian. **Functional Ecology**, v. 1, n. 17, p. 504-
414 515, 2003.
- 415 SADEGHI, H.; SHOURIJEH, F.A. Salinity induced effects on growth parameters, chemical
416 and biochemical characteristics of two forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars. **Asian**
417 **Journal of Plant Sciences**, v. 11, n.1, p.19-27, 2012.
- 418 SILVA, E.N. *et al.* Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young
419 plants. **Scientia Agricola**, v.68, n.1, p.62-68, 2011.
- 420 SILVEIRA, J.A.G.; *et al.* **Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao**
421 **estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da

- 422 salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de
423 Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 303-317, 2010.
- 424 SOUSA, A.E.C. *et al.* Trocas gasosas e conteúdo de carboidratos e compostos nitrogenados
425 em pinhão-mansão irrigado com águas residuária e salina. **Pesquisa Agropecuária**
426 **Brasileira**, v.47, n.10, p. 1428-1435, 2012.
- 427 SOUZA, R.P. *et al.* Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à
428 salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.6, p.586-592, 2011.
- 429 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p
- 430 VIANA, A.P. *et al.* Características fisiológicas de porta-enxertos de videira em solução
431 salina. **Sicentia Agricola**, v.58, n.1, p.139-143, 2001.
- 432 XIE,T.; SU, P. Canopy and leaf photosynthetic characteristics and water use efficiency of
433 sweet sorghum under drought stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.59, p.224–234,
434 2012.
- 435 YEMM, E. W.; COCKING, E. C.The determination of aminoacid with ninhydrin. **Analyst**,
436 London, v. 80, p. 209-213, 1955.
- 437 YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plants extracts by anthrone.
438 **Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.
- 439
- 440
- 441
- 442
- 443
- 444
- 445
- 446
- 447
- 448
- 449
- 450
- 451
- 452

5. ARTIGO 3:

Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade¹

RESUMO – O controle na absorção e distribuição de íons Na^+ e Cl^- nos tecidos das plantas está diretamente relacionado com o grau de tolerância das plantas à salinidade, podendo minimizar possíveis distúrbios nutricionais devido a competição desses íons com elementos como N, P, K, Ca, Mg e S. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da salinidade sobre o acúmulo e distribuição de Na, Cl e macronutrientes em dez genótipos de sorgo forrageiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido, em Petrolina – PE. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados dispostos em esquema fatorial 10×6 , considerando dez genótipos de sorgo forrageiro, seis níveis de salinidade e três repetições. Após a colheita, as plantas foram separadas em folhas, colmos e raízes, colocadas para secar e trituradas para posterior determinação dos elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Na e Cl. Verificou-se que o aumento da salinidade influenciou na redução da quantidade de macronutrientes acumulada em folhas, colmos e raízes de sorgo forrageiro, estando diretamente relacionado com as perdas de matéria seca e com efeito competitivo de íons Na^+ e Cl^- que se encontram em excesso na solução do solo.

Palavras-chave: extração, estresse salino, sódio, cloro, macronutrientes.

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar predomínio de solos jovens e pouco profundos em áreas que possuem elevadas taxas de evapotranspiração superando os índices de precipitação. Essas condições favorecem o processo de salinização dos solos e ainda limitam o armazenamento de água de boa qualidade devido aos altos teores de sais acumulados (Medeiros et al., 2010).

Nessa região, a utilização de espécies tolerantes à salinidade torna-se viável, principalmente quando se obtém rendimentos aceitáveis em áreas muitas vezes impróprias para a implantação de diversas culturas.

¹Artigo nas normas da revista Journal of Soil Science and Plant Nutrition

32 A salinidade afeta o crescimento e produtividade das plantas devido a seus efeitos
33 osmóticos, tóxicos e nutricionais. O estresse osmótico está relacionado com a dificuldade das
34 plantas em absorver água; com o acúmulo de íons tóxicos como o Na^+ e Cl^- que causam uma
35 série de problemas ao metabolismo (Munns, 2005).

36 O excesso de íons como Na^+ e Cl^- , ainda proporcionam desequilíbrios nutricionais ao
37 interferir na absorção de nutrientes essenciais à planta (Parida e Das, 2005), além de haver
38 alterações estruturais na membrana e inibição da atividade de várias enzimas que participam
39 do transporte e assimilação desses nutrientes (Mansour e Salama, 2004).

40 O mecanismo de absorção e o modelo de acumulação de íons em diferentes órgãos da
41 planta são processos de significativa importância na distinção entre genótipos sensíveis e
42 tolerantes à salinidade (Ashraf e Ahmad, 2000), pois podem representar uma adaptação das
43 plantas para minimizar o efeito tóxico dos íons Na^+ e Cl^- (Tavakkoli et al., 2012) e evitar
44 eventuais carências nutricionais devido ao efeito antagônico de NaCl sobre elementos como
45 N, P, K, Ca, Mg e S (Farias et al. 2009).

46 O sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench.] é considerado uma cultura moderadamente
47 tolerante à salinidade que vem sendo amplamente produzida em todo o mundo (Sadeghi e
48 Shourijeh, 2012). Devido ao seu alto potencial de produção em regiões secas e que
49 apresentam problemas com salinidade, vários estudos vem sendo desenvolvidos para seleção
50 de genótipos mais tolerantes a salinidade, bem como para identificação dos mecanismos
51 desenvolvidos por esses genótipos para adaptar-se a essas condições.

52 Considerando, que o controle na absorção e distribuição de íons Na^+ e Cl^- nos tecidos
53 das plantas é um dos mecanismos mais eficientes desenvolvidos por plantas tolerantes a
54 salinidade, minimizando distúrbios nutricionais, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito
55 da salinidade sobre o acúmulo e distribuição de Na^+ , Cl^- e macronutrientes em dez genótipos
56 de sorgo forrageiro.

57

58 MATERIAL E MÉTODOS

59

60 O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizado no município de Petrolina
61 – PE (9°9' S; 40°22' W). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é tropical
62 Semiárido, tipo BshW, caracterizado por escassez e irregularidade das precipitações.

63 O delineamento experimental foi em blocos casualizados dispostos em esquema fatorial
64 10x6, considerando dez genótipos de sorgo forrageiro e água salina com seis valores de

65 condutividade elétrica (CE_a), utilizando três repetições. Os genótipos avaliados foram 'F305',
66 'BRS 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1.015.045', '1.016.005', '1.016.009', '1.016.013',
67 '1.016.015' e '1.016.031', pertencentes ao banco de germoplasma da Embrapa Milho e Sorgo.

68 Os vasos foram preenchidos com uma camada de brita e completado com solo
69 caracterizado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico, de textura média,
70 coletado na profundidade de 0 a 20 cm (Tabela 1).

71 (Tabela 1)

72 A semeadura foi realizada colocando-se cinco sementes por vaso, a dois centímetros
73 de profundidade. Após quatorze dias, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por
74 vaso, e iniciadas as irrigações com as soluções salinas com os seguintes valores de CE_a : 0;
75 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 $dS\ m^{-1}$.

76 As soluções foram preparadas a partir dos sais NaCl, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ e $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, de
77 modo a se obter proporção equivalente entre Na:Ca:Mg de 7:2:1 (Aquino et al., 2007).

78 Para evitar possíveis problemas com deficiência nutricional foram feitas aplicações de
79 solução nutritiva preparada a partir de valores recomendados por Novais et al. (1991) para
80 experimento em casa de vegetação. Foram utilizados 5,4; 4,4 e 4,5 g por vaso de NaH_2PO_4 ,
81 KH_2PO_4 e $(NH_4)_2SO_4$, e 28; 31,5; 1,6; 67,5; 10,6; 3,0 e 4,0 mg por vaso de H_3BO_3 ,
82 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, $MnSO_4 \cdot H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ e Na_2EDTA ,
83 respectivamente. A quantidade de nutrientes foi parcelada em três aplicações a cada vinte
84 dias, iniciada após o desbaste.

85 As irrigações foram realizadas de forma a manter a umidade do solo próximo à
86 capacidade de campo e evitar o acúmulo de sais. Para isso, os vasos foram irrigados a cada
87 dois dias, mantendo-se uma fração de lixiviação de aproximadamente 15%.

88 Aos 60 dias após o início das aplicações das soluções salinas iniciou-se a retirada das
89 plantas à medida que atingiam o ponto de colheita, correspondente ao momento em que os
90 grãos da porção central da panícula adquiriam aspecto pastoso a farináceo. A colheita durou
91 um período de dez dias.

92 Após a colheita, as plantas foram separadas em folhas, colmos e raízes e colocadas
93 para secar em estufa à 60°C por 72 horas, sendo posteriormente pesadas para determinação da
94 massa seca. Em seguida as partes vegetais foram trituradas em moinho para posterior
95 determinação dos teores de macronutrientes, Na e Cl.

96 Para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S e Na, 0,5 g de do material seco e
97 triturado foi submetido à digestão nítrico-perclórica, sendo K e Na determinados

98 posteriormente por fotometria de chama, Ca e Mg por espectrofotometria de absorção
99 atômica; S por turbidimetria do sulfato e P por espectrofotometria UV-VIS (EMBRAPA,
100 1997). Para determinação de N, amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e posterior
101 quantificação pelo método de Kjeldahl (Miazawa et al., 2009). Os teores de Cl^- foram
102 determinados após extração em água e titulação com AgNO_3 , na presença do indicador
103 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (Malavolta et al., 1989).

104 O acúmulo desses minerais em folhas, colmos e raízes foi determinado a partir do
105 produto entre os teores dos elementos e a massa seca correspondente a cada parte da planta.

106 Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o
107 programa Sisvar 5.0. Para as situações em que houve interação significativa entre genótipos e
108 níveis de salinidade foi realizado o desdobramento das variáveis dentro de cada fator, caso
109 contrário, considerou-se o efeito independente dos fatores para as variáveis estudadas.

110 Para comparação entre os níveis de salinidade foram avaliados modelos de regressão
111 de primeiro e segundo grau quando significativos ao nível de 1% ou 5% de probabilidade. O
112 teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi adotado para os casos de regressões não
113 significativas ($p > 0,05$). Para comparação entre os genótipos foi realizado o teste de Scott
114 Knott a 5% de probabilidade.

115

116 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

117

118 Verificou-se com a análise de variância (Tabela 2) que não houve interação entre os
119 fatores para o acúmulo de N, P e K nas folhas, para todos os macronutrientes no colmo, e para
120 N, P e Ca nas raízes. Nesses casos, as diferenças entre genótipos e entre os níveis de
121 salinidade foram avaliados de forma independente.

122 (Tabela 2)

123 Para Ca, Mg e S nas folhas, K, Mg e S nas raízes (Tabela 2) e para o acúmulo Na e
124 Cl nas três partes da planta (Tabela 3) foi observado que houve efeito diferenciado entre os
125 níveis de salinidade para cada genótipo avaliado.

126 (Tabela 3)

127 Considerando o acúmulo dos elementos N, P, K, Ca, Mg e S nos colmos, folhas e
128 raízes dos genótipos de sorgo forrageiro (Tabela 4), verificou-se que o padrão de distribuição
129 dos nutrientes nesses órgãos foi diferenciado entre os genótipos, no entanto, os resultados

130 refletem a quantidade de nutrientes extraídos na seguinte ordem K>N>Ca>P>Mg>S, similar
131 ao encontrado por Pitta et al. (2001) e Fribourg et al. (1976).

132 Comparando o acúmulo dos macronutrientes entre os dez genótipos, independente
133 dos níveis de salinidade (Tabela 4), foi verificado que ‘BRS 655’, ‘BRS 610’ e ‘1.016.031’
134 estão entre os genótipos que apresentaram simultaneamente os menores valores de N, P e K
135 nas folhas, enquanto que o mesmo ocorreu para os valores de N, P e Ca nas raízes de
136 ‘1.016.031’. Para esse último, o acúmulo de N foi inferior a todos os genótipos.

137 Nos colmos, com exceção de P, foram verificadas diferenças significativas entre os
138 genótipos quanto ao acúmulo de macronutrientes. Nesse caso, ‘F305’ e ‘1.016.015’
139 apresentaram valores iguais ou superiores aos demais genótipos em todos os elementos,
140 enquanto que ‘BRS 655’ e ‘BRS 610’ apresentaram os menores resultados.

141 Essas diferenças verificadas no acúmulo de nutrientes em colmos, folhas e raízes dos
142 genótipos de sorgo forrageiro podem estar relacionadas com a diversidade genética dos
143 mesmos, os quais refletem na suas características bromatológicas (Santos et al., 2013) e
144 consequentemente nas suas exigências nutricionais.

145 Em relação ao efeito da salinidade sobre o acúmulo de macronutrientes nos colmos,
146 independente do genótipo (Figura 1), verificou-se que N foi o único elemento que não foi
147 afetado com o aumento dos valores CE_a nesse órgão, enquanto que P, K, Ca e S apresentaram
148 decréscimos lineares com o aumento nos níveis de salinidade.

149 (Figura 1)

150 Decréscimos na acumulação de nutrientes nas diversas partes da planta tem sido
151 justificadas pelo efeito do excesso de NaCl no meio, que competem pelos sítios de absorção
152 nas raízes (Marschner, 1995), como ocorreu com N, P, K e Ca em plantas de feijoeiro (Neves
153 et al. 2009), N, P, K, Ca, Mg e S em gliricídia (Farias et al., 2009), P, K, Ca e Mg em milho
154 (Sousa et al., 2010).

155 Farias et al. (2009) ainda afirmam que a redução do acúmulo de nutrientes também
156 correlaciona-se com o efeito depressivo da salinidade sobre a produção de massa seca das
157 plantas, sendo a principal causa nos decréscimos de N e S em plantas de gliricídia.

158 Como a quantidade de N acumulada nos colmos das plantas de sorgo forrageiro não
159 foi afetada pela salinidade, pressupõe-se a existência de mecanismos que realizam a
160 manutenção no acúmulo de N nesse órgão, como sugerido por Cruz et al. (2006) em
161 maracujazeiro-amarelo sob estresse salino.

162 Já o acúmulo de Mg nos colmos foi representado por regressão de segundo grau
163 (Figura 1), onde ocorreu um aumento significativo do mesmo com a elevação da CE_a até 5,7
164 $dS\ m^{-1}$, e posterior decréscimo com o incremento da salinidade. Esse fato, pode estar
165 relacionado com a presença de Mg nas soluções salinas, que em níveis mais baixos de
166 salinidade possibilitou maior absorção desse elemento já que a solução nutritiva aplicada não
167 apresentava Mg em sua composição. Por outro lado, os decréscimos no acúmulo de Mg foram
168 devidos aos efeitos do estresse salino mais severo, assim como ocorreu com os demais
169 nutrientes.

170 Com o aumento da salinidade, os acúmulos de N, P e K nas folhas (Figura 2) e N, P e
171 Ca nas raízes (Figura 3) sofreram decréscimos. Para N, reduções nas folhas e raízes foram
172 lineares, no entanto, os decréscimos foram mais acentuados nas raízes.

173 (Figuras 2 e 3)

174 A redução na absorção de N pode ter sido afetada pela competição de NH_4^+
175 fornecido na solução nutritiva com íons Na^+ , apesar de Zonghua et al. (2011) afirmarem que a
176 absorção de N na forma de NH_4^+ contribui para melhores respostas ao estresse salino devido à
177 maior economia de energia durante sua assimilação quando comparada a forma nítrica. No
178 entanto, pelas boas condições de drenagem do solo ainda é possível pressupor a ocorrência da
179 oxidação de NH_4^+ (Cantarella, 2007), formando NO_3^- , que por sua vez, também compete com
180 o Cl^- em excesso na solução do solo.

181 As reduções de N nas raízes provavelmente tiveram maior relação com os
182 decréscimos em massa seca desse órgão, os quais foram mais acentuados que a parte aérea
183 (dados não apresentados), concordando com os resultados observados por Farias et al. (2009).

184 Decréscimos na acumulação de P em folhas, colmos e raízes tem demonstrado a
185 influência da salinidade sobre a absorção desse nutriente. Lacerda et al. (2006) observaram
186 que o sorgo quando cultivado sob salinidade aplicando-se doses crescentes de P foi menos
187 exigente nesse nutriente, sendo que as doses mais elevadas de P podem ter contribuído de
188 alguma forma na inibição do crescimento das plantas.

189 Em relação ao K^+ acumulado nas folhas, os decréscimos ocorridos com o aumento da
190 salinidade tem sido relacionados principalmente ao efeito antagônico existente entre esse íon
191 e o Na^+ (Fernandes et al., 2002). Nesse caso, a redução da quantidade de K^+ nas células é um
192 fator agravante do estresse salino devido a sua elevada participação na regulação do potencial
193 osmótico, necessária à absorção de água nessas circunstâncias (Marschner, 1995).

194 O acúmulo de Ca nas folhas foi diferenciado entre genótipos para cada nível de
195 salinidade (Tabela 6). Para 'F305', '1.016.005', '1.016.013' e '1.016.015', a quantidade de
196 Ca acumulada nas folhas com o aumento da salinidade foi representada por regressões de
197 segundo grau, demonstrando acréscimos até os valores de CE_a de 7,3; 6,5; 5,8 e 4,8 $dS\ m^{-1}$,
198 respectivamente. Acima desses valores de CE_a houve decréscimos provavelmente
199 ocasionados pelos efeitos mais severos do estresse salino. Já os demais genótipos
200 apresentaram pouca ou nenhuma diferença significativa entre os níveis de salinidade.

201 (Tabela 5)

202 Os acréscimos de Ca em folhas de alguns genótipos até certo nível de salinidade
203 podem ser explicados pela contribuição desse elemento na água salina para a nutrição das
204 plantas. Tem-se verificado que a maior acumulação de Ca pode contribuir na tolerância ao
205 estresse salino, devido ao seu papel na manutenção da integridade das membranas, haja vista
206 a importância da seletividade das membranas nos processos de absorção e compartimentação
207 iônica (Azevedo Neto e Tabosa, 2000).

208 Em relação ao Mg acumulado nas folhas (Tabela 5), foi observada elevada variação
209 nesses valores, o que não resultou em diferenças significativas entre os níveis de salinidade
210 para cada genótipo, exceto 'F305'. Este último apresentou características semelhantes ao Ca,
211 havendo máxima acumulação de Mg em 2,7 $dS\ m^{-1}$, o que demonstra que o aumento da
212 salinidade afetou de forma mais intensa a absorção e acumulação de Mg do que Ca nas folhas
213 desse genótipo.

214 Esse fato pode estar relacionado à maior concentração de Ca em relação ao Mg na
215 água salina, os quais possibilitam maior disponibilização de Ca às plantas quando comparado
216 ao Mg (Meurer, 2006).

217 Ainda nas folhas, o acúmulo de S foi diferenciado entre os níveis de salinidade
218 apenas para 'F305' e '1.016.015'. Nas raízes, devido aos altos valores de C.V. obtidos a partir
219 da análise de K acumulado nesse órgão, não foi possível observar diferenças significativas
220 entre os níveis de salinidade para a maioria dos genótipos (Tabela 6). No entanto, para 'F305',
221 '1.016.009', '1.016.015' e '1.016.031' foram verificados decréscimos no acúmulo K com o
222 aumento da CE_a , ocorrendo de forma linear para os três primeiros genótipos e seguindo
223 modelo polinomial de 2º grau para este último.

224 (Tabela 6)

225 Esse fato pode ser explicado pela influência direta do aumento da concentração de
226 Na no meio radicular, o qual pode inibir o influxo de K nas células das raízes e/ou promover o

227 efluxo citossólico de K, induzido por canais no plasmalema ou pelo aumento da fluidez da
228 membrana devido à redução de Ca (Azevedo Neto e Tabosa, 2000).

229 Devido aos altos valores de C.V., não foi possível verificar diferenças significativas
230 na quantidade de Mg acumulada nas raízes para a maioria dos genótipos, com exceção de
231 'BRS 655' e '1.016.009' que apresentaram redução com o aumento da salinidade. Para
232 'F305', '1.015.045', '1.016.009' e '1.016.013', também foram observadas reduções de S nas
233 raízes com o aumento da salinidade.

234 Como mencionado anteriormente, o efeito da competição dos íons Na^+ e Cl^- foi o que
235 provavelmente contribuiu para a redução no acúmulo dos macronutrientes nas folhas, colmos
236 e raízes das plantas de sorgo forrageiro, o que pode ser confirmado pelos acréscimos
237 consideráveis desses íons nos órgãos das plantas com o aumento da salinidade (Tabelas 8 e 9).

238 No geral, a quantidade de Na^+ acumulada nas folhas, colmo e raízes foi crescente,
239 apresentando característica linear em folhas de 'Volumax' e '1.016.015', e nos colmos de
240 'F305', 'Volumax', '1.015.045' e '1.016.005', enquanto que nos colmos de '1.016.013' e em
241 raízes de 'Volumax' (Tabela 7) o acúmulo de Na^+ foi crescente até os níveis de CE_a de 9,0 e
242 6,1 dS m^{-1} , respectivamente, decrescendo a partir disso com o aumento da CE_a .

243 (Tabela 7)

244 Observou-se que comparado à quantidade de Na^+ nas raízes e colmos, o acúmulo de
245 Na^+ nas folhas foi inferior, o que pode representar um mecanismo de adaptação dessas plantas
246 para evitar o efeito tóxico do Na^+ diretamente sobre atividades metabólicas nesse órgão. Esse
247 fato foi também observado para sorgo (Trindade et al., 2006), para milho (Azevedo Neto e
248 Tabosa, 2000) e gliricídia (Farias et al., 2009).

249 Tavakkoli et al. (2012) afirmam que os mecanismos desenvolvidos para minimizar
250 os efeitos tóxicos de Na^+ sobre as plantas são os que mais contribuem no grau de tolerância à
251 salinidade; e envolvem o controle na absorção desse íon, seu bloqueio no carregamento do
252 xilema, extrusão a partir da raiz e compartimentação intracelular de Na^+ nos vacúolos.

253 Em relação ao Cl^- acumulado em folhas, colmos e raízes, apesar de não serem
254 observadas diferenças significativas entre níveis de salinidade para vários genótipos,
255 justificados pelos altos valores de C.V., foi verificada uma tendência de aumento desse
256 elemento nas diversas partes da planta, sendo suas quantidades muito superiores às
257 encontradas para Na^+ (Tabela 8).

258 (Tabela 8)

259 Esse fato está relacionado a característica de Cl^- como ânion livre na planta, o que
260 lhe confere mobilidade e transporte elevados (Marschner, 1995). Além disso, o Cl^- apresenta
261 menor afinidade para ser retido ou adsorvido pelas partículas do solo, o que possibilita sua
262 maior absorção pelas plantas (Dias e Blanco, 2010).

263

264 **CONCLUSÕES**

265

266 A salinidade influencia na redução da quantidade de macronutrientes acumulada em
267 folhas, colmos e raízes de sorgo forrageiro, estando diretamente relacionado com as perdas de
268 matéria seca e com efeito competitivo de íons Na^+ e Cl^- que se encontram em excesso na
269 solução do solo.

270

271 **REFERÊNCIAS**

272

273 Ashraf, M., Ahmad, S. 2000. Influence of sodium on ion accumulation, yield components and
274 fiber characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum*
275 L.). Field Crops Research, Oxford 66, 115-127.

276 Aquino, A.J.S., Lacerda, C.F., Gomes-Filho, E. 2007. Crescimento, partição de matéria seca e
277 retenção de Na^+ , K^+ e Cl^- em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. Revista
278 Brasileira de Ciência do Solo 31, 961-971.

279 Azevedo Neto, A.D., Tabosa, J. N. 2000. Estresse salino em plântulas de milho: parte II
280 distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. Revista Brasileira
281 de Engenharia Agrícola e Ambiental 4, 165-171.

282 **Cantarella, H.** 2007. Nitrogênio. In:R.F. Novais; V.H. Alvarez; N.F. Barros; R.L.F.F. Fontes,
283 R.B. Cantarutti, J.C.L. Neves. Fertilidade de Solo.Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,
284 Viçosa, pp:375-470.

285 Cruz, J.L.; Pelacani, C.R.; Coelho,E.F.; Caldas, R.C.; Almeida, A.Q. Queiroz J.R. 2006.
286 Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e
287 macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. Bragantia 65, 275-284.

288 **Dias, N.S., Blanco, F.F.** 2010. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: H.R. Gheyi, N. S.
289 Dias, C.F. Lacerda. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.
290 Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza, pp: 130-141.

- 291 **EMBRAPA.** 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de
292 Solos, Rio de Janeiro, 212 p.
- 293 Farias, S.G.G., Santos, D.R., Freire, A.L.O., Silva, R.B. 2009. Estresse salino no crescimento
294 inicial e nutrição mineral de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud] em
295 solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33, 1499-1505.
- 296 Fernandes, A.R., Carvalho, J.G., Curi, N., Pinto, J.E.B.P., Guimarães, P.T.G. 2002. Nutrição
297 mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. Pesquisa
298 Agropecuária Brasileira 37, 1613-1619.
- 299 Ferreira, D. F. 2003. Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e
300 planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67). Lavras: DEX/UFLA.
- 301 Fribourg, H.A., W.E. Bryan; G.M. Lessman; D.M. Manning. 1976. Nutrient uptake by corn
302 and grain sorghum silage as affected by soil type, planting date, and moisture regime.
303 Agronomy Journal 68, 260 –263.
- 304 Lacerda, C.F., Morais, H.M.M., Prisco, J.T., Gomes-Filho, E., Bezerra, M.A. 2006. Interação
305 entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. Revista Ciência Agronômica 37,
306 258-263.
- 307 Mansour, M.M.F., Salama, K.H.A. 2004. Cellular basis of salinity tolerance in
308 plants. Environmental and Experimental Botany, 52, 113-122.
- 309 **Marschner, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic, London, 674p.
- 310 **Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A.** 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas.
311 Piracicaba: POTAFOS, 201p.
- 312 **Medeiros, J.F., Nascimento, I.B. Ghery, H.R.** 2010. Manejo do solo-água-plantas em área
313 afetadas por sais. In: H.R. Gheyi, N.S. Dias, C.F. Lacerda. Manejo da salinidade na
314 agricultura: Estudos básicos e aplicados. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em
315 Salinidade, Fortaleza, pp: 280-302.
- 316 **Meurer, E.J.** 2006. Fundamentos de química do solo. Genesis, Porto Alegre, 285 p.
- 317 **Miazawa, M. Pavan, M.A., Muraoka, T., Carmo, C.A.F.S., Melo, W.J. de.** 2009. Análise
318 química de tecido vegetal. In: F.C. Silva (Ed.). Manual de análises químicas de solos,
319 plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp:191-234.
- 320 Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist 167, 45-
321 663.
- 322 Neves, A.L.R., Lacerda, C.F., Guimarães, F.V.A., Hernandez, F.F.F., Silva, F.B., Prisco, J.T.,
323 Gheyi, H.R. 2009. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-

- 324 de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. Ciência
325 Rural 39, 758-765.
- 326 Parida, A.K., Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review.
327 Ecotoxicology and Environmental Safety 60,324-349.
- 328 **Pitta, G.V.E., Vasconcellos, C.A., Alves, V.M.C.** 2001. Fertilidade do solo e nutrição
329 mineral do sorgo forrageiro. In: J.C. Cruz, I. A. Pereira Filho, J.A.S. Rodrigues, J. J.
330 Ferreira (eds.). Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Sete Lagoas: Embrapa
331 Milho e Sorgo, pp: 243-262.
- 332 Sadeghi, H., Shourijeh, F.A. 2012. Salinity induced effects on growth parameters, chemical
333 and biochemical characteristics of two forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars.
334 Asian Journal of Plant Sciences 11,19-27.
- 335 Santos, R.D., Pereira, L.G.R., Neves, L.A., Rodrigues, J.A.S., Costa, C.T.F., Oliveira, G.F.
336 2013. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the
337 lower middle San Francisco Valley. Acta Scientiarum Animal Scienses 35, 13-19.
- 338 Sousa, G.G., Lacerda, C.F., Cavalcante, L.F., Guimarães, F.V.A., Bezerra, M.E.J., Silva, G.L.
339 Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina.
340 2010. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14, 1143-1151.
- 341 Tavakkoli, E. Paull, J., Rengasamu, P., McDonald, G.K. 2012. Comparing genotypic variation
342 in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments.
343 Field Crops Research 127, 99-108.
- 344 Trindade, A.R.; Lacerda, C.F.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J.T.; Bezerra, M.A. 2006. Influência
345 do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimatação de plantas de sorgo e feijão-de-
346 corda, ao estresse salino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10, 804-
347 810.
- 348 Zhonghua, T., Yanju, L, Xiaorui, G., Yuangang, Z. 2011. The combined effects of salinity
349 and nitrogen forms on *Catharanthus roseus*: The role of internal ammonium and free amino
350 acids during salt stress, Journal of Plant Nutrition and Soil Science 174, 135-144.
- 351
- 352
- 353
- 354

355 **Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de genótipos
 356 de sorgo forrageiro sob salinidade.

M.O.	pH H ₂ O	CE _{es}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	T
g kg ⁻¹	(1:2,5)	dS m ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
4,14	5,7	0,74	1,4	1,9	0,03	0,28	0,05	5,92
P	V	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
mg dm ⁻³	%	-----mg dm ⁻³ -----				-----g kg ⁻¹ -----		
7,2	61	0,3	23,2	19,6	1,0	846,4	135,1	17,9

357 CE_{ES}= condutividade elétrica do extrato de saturação; M.O.= matéria orgânica; P= fósforo disponível extraído por Mehlich⁻¹; Ca²⁺=
 358 cálcio trocável; Mg²⁺= magnésio trocável; Na⁺= sódio trocável; K⁺= potássio trocável; Al³⁺= Alumínio trocável; T= capacidade de
 359 troca de cátions à pH 7,0; V=saturação por bases; Fe=ferro disponível; Mn= manganês disponível; Cu= cobre disponível; Zn= zinco
 360 disponível. Micronutrientes extraídos com Mehlich⁻¹.

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377 **Tabela 2.** Análise de variância (ANAVA) entre genótipos, condutividade elétrica (CE_a)
 378 das soluções salinas e interação genótiposXCE_a para acúmulo dos macronutrientes nas
 379 folhas, colmos e raízes de sorgo forrageiro.

Fatores de Variação	----- Quadrado Médio -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- folhas -----					
Genótipos	4,17**	1821,6**	31534,1**	13529**	21891,7**	190,66**
C.E.	2,33**	5884,0**	7894,5**	4249,5**	4748,3**	49,39 ^{ns}
Genótipos X CEa	0,25 ^{ns}	225,4 ^{ns}	2155,6 ^{ns}	1701,7**	1273,3**	35,41*
Resíduo	0,28	179,5	1620,2	844,4	423,7	23,68
C.V. (%)	60,7	35,5	35,5	37,3	51,9	50,6
	----- colmo -----					
Genótipos	24,2**	364,7 ^{ns}	19526**	10030**	1187**	606,3**
C.E.	39,4 ^{ns}	19816**	275518**	4489**	3164**	1301,5**
Genótipos X CEa	9,83 ^{ns}	280,3 ^{ns}	9118 ^{ns}	797,4 ^{ns}	203,1 ^{ns}	161,0 ^{ns}
Resíduo	7,9	299,1	6780,3	722,5	154,6	174,6
C.V. (%)	69,6	33,1	40,6	45,4	42,3	55,4
	----- raízes -----					
Genótipos	297**	4544,3**	254084**	8874,1**	531,32**	1609,7*
C.E.	1060**	9566,2**	216816**	6856,0**	791,87**	4532,2**
Genótipos X CEa	119,4 ^{ns}	1039,3 ^{ns}	35328*	1396,4 ^{ns}	274,07*	1017,9*
Resíduo	102,8	893,7	22532	1271,5	173,13	649
C.V. (%)	81,3	93,1	86,31	54,1	74,6	94,3

380 **= p<0,01, *= p<0,05 e ns= não significativo.

381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393

394 **Tabela 3.** Análise de variância (ANOVA) entre genótipos, condutividade elétrica (CE_a)
 395 das soluções salinas e interação genótiposXCE_a para acúmulo de Na e Cl nas folhas,
 396 colmos e raízes de sorgo forrageiro.

Fatores de Variação	Quadrado Médio					
	----- Na -----			----- Cl -----		
	folhas	colmo	raízes	folhas	colmo	raízes
Genótipos	6.011,4**	70.064,8**	118.646,0**	178.484,4**	169.755,1**	49.454,2*
C.E.	42.676,4**	16.939,2**	36.653,8**	443.464,2**	869.046,9**	175.579,7**
Genótipos X CEa	2.200,3**	65.784,0**	27.143,4*	22.967,2*	58.129,7*	59.071,7*
Resíduo	610,0	1.912,8	4.790,2	13,417,7	27.368,2	14.443,1
C.V. (%)	44,5	33,4	56,7	46,4	41,2	51,9

397 **= p<0,01, *= p<0,05 e ns= não significativo.

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420 **Tabela 4.** Acúmulo de macronutrientes (mg) nos colmos, de N, P e K nas folhas e N, P e
 421 Ca nas raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro, independente dos níveis de salinidade
 422 avaliados.

	----- N -----			----- P -----			----- K -----		
	folhas	colmos	raízes	folhas	colmos	raízes	folhas	colmos	Raízes*
F305	134,2 a	142,4 a	142,6 a	36,7 c	55,5 a	69,4 a	134,1 b	216,1 a	158,2
BRS 655	90,8 b	74,3 b	76,2 b	27,7 c	50,1 a	17,4 c	54,9 d	134,1 b	34,7
BRS 610	67,4 b	74,9 b	75,3 b	20,1 d	42,9 a	19,6 c	84,8 c	183,8 b	63,1
Volumax	107,9 a	121,2 a	128,6 b	31,2 c	53,7 a	43,6 b	191,7 a	207,2 a	61,7
1.015.045	92,4 b	97,3 b	106,1 b	41,6 b	50,1 a	36,0 b	113,3 b	217,3 a	90,5
1.016.005	117,1 a	121,5 a	76,1 b	43,8 b	55,7 a	21,5 c	129,1 b	254,1 a	65,6
1.016.009	99,9 b	92,6 b	107,7 b	50,3 a	49,8 a	32,9 b	132,4 b	178,7 b	140,6
1.016.013	89,9 b	116,4 a	97,5 b	43,0 b	59,6 a	23,1 c	108,2 b	207,8 a	150,0
1.016.015	108,1 a	125,3 a	83 b	51,3 a	53,2 a	37,2 b	134,9 b	233,7 a	442,0
1.016.031	81,2 b	113,3 a	58,5 c	31,9 c	51,6 a	20,3 c	51,2 d	193,9 b	205,5

	----- Ca -----			----- Mg -----			----- S -----		
	folhas*	colmos	raízes	folhas*	colmos	raízes*	folhas*	colmos	raízes*
F305	111,3	75,6 a	95,6 a	136,2	41,6 a	27,0	13,5	28,1 a	21,1
BRS 655	39,5	29,3 c	63,3 b	19,5	19,4 b	21,5	4,1	13,8 b	18,8
BRS 610	49,7	30,0 c	41,1 c	19,4	17,4 b	11,8	6,5	15,8 b	17,1
Volumax	104,0	45,4 b	99,5 a	41,2	36,4 a	21,3	12,0	28,1 a	47,1
1.015.045	70,7	59,7 b	83,8 a	29,8	25,5 b	16,3	9,6	22,2 b	31,4
1.016.005	85,4	84,0 a	68,2 b	32,1	28,1 b	15,7	10,1	31,2 a	22,6
1.016.009	94,6	42,6 b	67,9 b	37,7	23,1 b	24,1	10,7	23,1 b	37,6
1.016.013	86,2	47,2 b	36,4 c	26,7	31,0 a	11,9	8,7	29,0 a	28,7
1.016.015	101,2	90,5 a	61,3 b	36,2	38,2 a	12,9	14,5	26,6 a	25,5
1.016.031	36,7	87,4 a	41,7 c	18,3	33,3 a	14,0	6,6	20,8 b	20,1

423 Colunas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

424 *Interação genótiposXCE_a significativa.

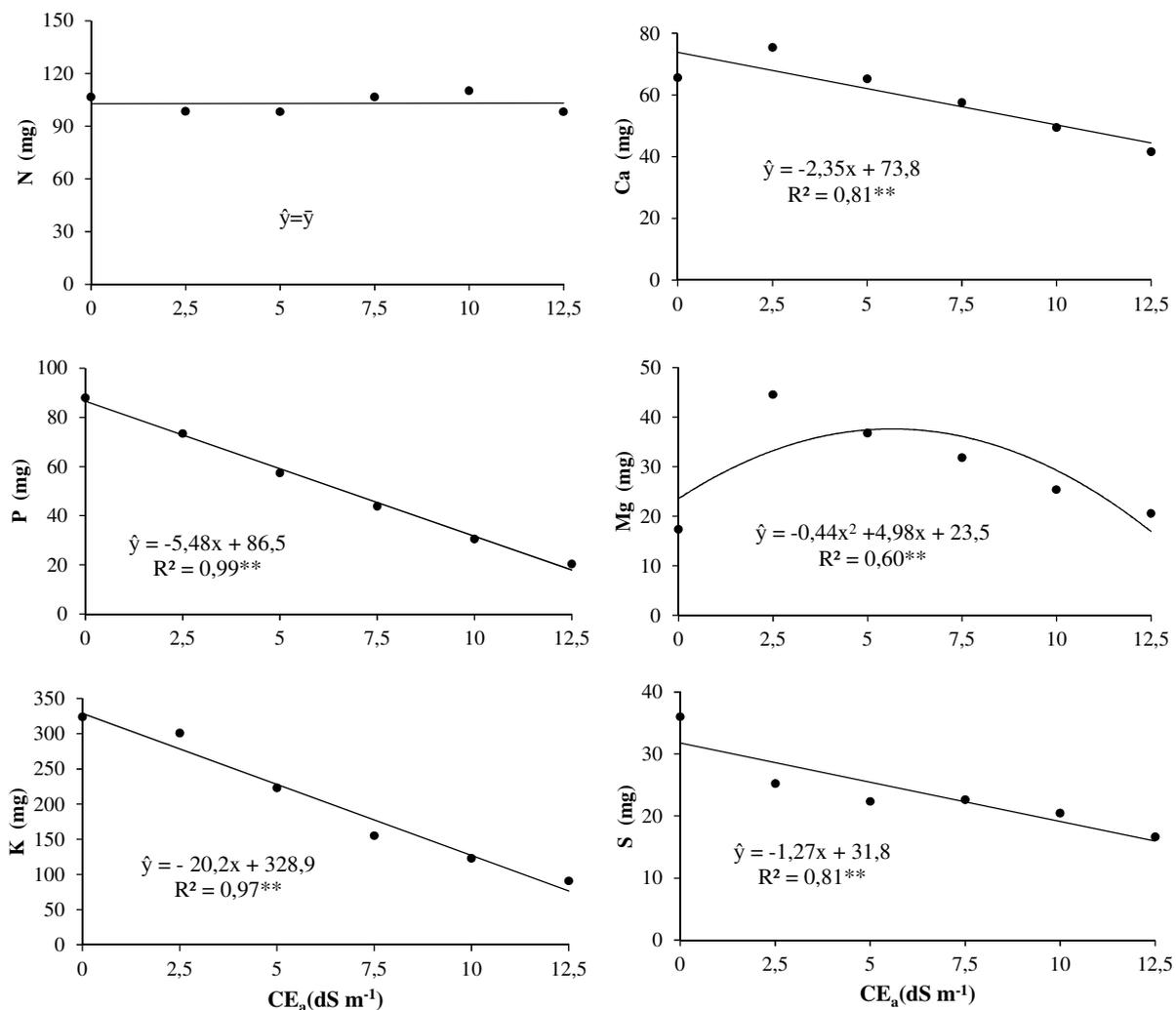
425

426

427

428

429



430

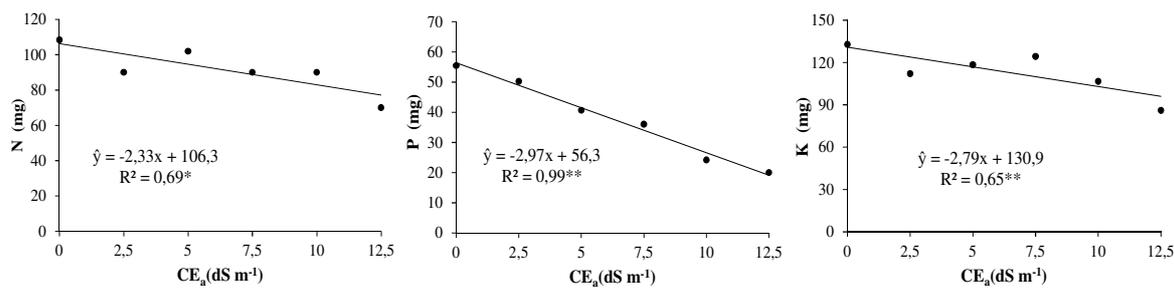
431 **Figura 1.** Acúmulo de macronutrientes nos colmos de sorgo forrageiro irrigados com águas
 432 de diferentes níveis de salinidade. ******; ***** regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade,
 433 respectivamente.

434

435

436

437



438

439 **Figura 2.** Acúmulo de N, P e K em folhas de sorgo forrageiro irrigados com águas de
440 diferentes níveis de salinidade. **; * regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade,
441 respectivamente.

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

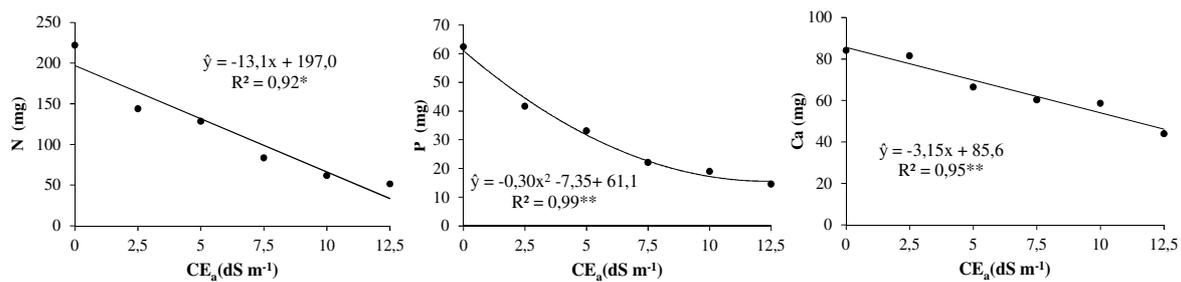
458

459

460

461

462



463

464 **Figura 3.** Acúmulo de N, P e Ca em raízes de sorgo forrageiro irrigados com águas de
 465 diferentes níveis de salinidade. **; * regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade,
 466 respectivamente.

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486 **Tabela 5.** Acúmulo de Ca, Mg e S em folhas de dez genótipos de sorgo forrageiro
 487 irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.

	-----dS m ⁻¹ -----						equação de regressão	R ²
	0	2,5	5	7,5	10	12,5		
----- Ca (mg) -----								
F305	84,9 A	98,9 A	107,6 B	149,8 A	131,6 A	94,8 A	$\hat{y} = -1,03x^2 + 15,1x + 76,2$	0,68*
BRS 655	46,1 aA	37,8 aB	42,8 aC	53,8 aB	29,7 aC	26,7 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	43,8 aA	69,3 aB	50,5 aC	41,7 aB	46,4 aC	46,9 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	74,2 bA	102,4 abA	119,5 abB	93,1 abA	145,4 aA	89,7 abA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	57,4 aA	87,8 aA	80,5 aC	72,6 aB	62,6 aC	63,5 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	55,3 A	77,0 B	116,1 B	120,5 A	81,7 B	61,6 B	$\hat{y} = -1,48x^2 + 19,2x + 50,8$	0,87**
1.016.009	80,4 aA	119,3 aA	86,5 aC	61,6 aB	127,6 aA	92,4 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	61,8 A	102,2 A	114,0 B	121,0 A	37,1 C	81,1 A	$\hat{y} = -1,04x^2 + 12,0x + 71,0$	0,32*
1.016.015	87,7 A	138,9 A	171,8 A	82,4 B	92,8 B	33,7 B	$\hat{y} = -1,83x^2 + 17,2x + 98,6$	0,73**
1.016.031	33,9 aA	37,2 aB	34,1 aC	31,4 aB	29,8 aC	63,7 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- Mg (mg) -----								
F305	165,9 A	203,7 A	182,3 A	163,5 A	59,8 A	42,4 A	$\hat{y} = -1,72x^2 + 9,4x + 176,5$	0,90*
BRS 655	18,1 aB	22,4 aB	26,8 aB	27,2 aB	10,2 aB	12,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	17,0 aB	35,8 aB	21,8 aB	13,4 aB	14,4 aB	13,9 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	33,6 aB	52,5 aB	50,4 aB	33,0 aB	50,3 aA	27,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	28,5 aB	42,4 aB	34,0 aB	27,5 aB	23,2 aB	23,1 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	22,5 aB	40,5 aB	41,7 aB	42,9 aB	26,4 aB	18,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	27,0 aB	53,7 aB	33,8 aB	44,5 aB	38,5 aA	28,4 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	19,1 aB	43,2 aB	35,3 aB	32,9 aB	10,7 aB	19,1 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	21,4 aB	45,3 aB	46,5 aB	38,4 aB	37,9 aA	27,4 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.031	16,2 aB	25,4 aB	18,9 aB	16,6 aB	8,3 aB	24,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- S (mg) -----								
F305	9,0 A	11,5 A	19,1 A	16,2 A	16,8 A	8,6 A	$\hat{y} = -0,23x^2 + 3,04x + 7,84$	0,82**
BRS 655	5,9 aA	4,3 aA	3,0 aB	5,0 aB	3,3 aB	3,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	7,2 aA	7,3 aA	5,2 aB	5,5 aB	5,8 aB	8,0 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	7,7 aA	5,3 aA	14,0 aB	13,7 aA	20,4 aA	10,6 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	10,0 aA	13,9 aA	8,0 aB	9,1 aB	7,3 aB	8,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	12,3 aA	9,0 aA	12,3 aB	11,0 aA	10,1 aA	5,6 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	13,1 aA	8,2 aA	7,6 aB	12,4 aA	13,0 aA	9,9 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	8,3 aA	8,3 aA	10,8 aB	13,6 aA	3,9 aB	7,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	12,5 A	13,0 A	25,9 A	14,7 A	11,6 A	9,0 A	$\hat{y} = -0,23x^2 + 2,44x + 12,1$	0,52*
1.016.031	10,9 aA	6,1 aA	6,3 aB	6,7 aB	5,1 aB	7,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--

488 Mesma letra maiúscula entre genótipos e mesma letra minúscula entre níveis de salinidade não
 489 diferem entre si respectivamente pelos testes de Scott Knott ($p < 0,05$) e Tukey ($p < 0,05$). **, *
 490 regressões significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

491

492

493 **Tabela 6.** Acúmulo de K, Mg e S nas raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro
 494 irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.

	-----dS m ⁻¹ -----						equação de regressão	R ²
	0	2,5	5	7,5	10	12,5		
----- K (mg)-----								
F305	345,6 B	192,6 B	136,0 B	111,5 A	77,5 A	85,7 A	$\hat{y} = -19,1x + 277$	0,78*
BRS 655	66,0 aC	37,7 aB	28,7 aB	31,6 aA	36,1 aA	8,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	147,1 aC	64,7 aB	65,2 aB	48,5 aA	28,5 aA	24,8 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	136,5 aC	45,8 aB	31,0 aB	85,8 aA	53,2 aA	18,0 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	138,1 aC	148,2 aB	159,5 aB	37,0 aA	50,8 aA	9,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	70,5 aC	99,3 aB	84,6 aB	44,0 aA	72,8 aA	22,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	362,3 B	139,7 B	180,0 B	73,1 A	48,1 A	40,5 A	$\hat{y} = -22,7x + 283$	0,78*
1.016.013	144,6 aC	81,4 aB	240,9 aB	223,0 aA	51,9 aA	158,1 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	856,5 A	427,3 A	637,5 A	167,9 A	339,7 A	223,2 A	$\hat{y} = -44,6x + 720$	0,63**
1.016.031	609,7 A	472,7 A	59,3 B	51,5 A	24,7 A	15,4 A	$\hat{y} = 6,24x^2 - 127,4x + 644$	0,93**
----- Mg (mg)-----								
F305	28,6 aB	28,1 aA	43,3 aA	25,3 aA	21,8 aA	14,9 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 655	25,9 B	39,0 A	15,9 A	17,9 A	22,0 A	8,0 A	$\hat{y} = -1,59x + 31,4$	0,50*
BRS 610	15,1 aB	11,5 aB	12,5 aA	13,3 aA	12,0 aA	6,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	18,8 aB	27,5 aA	18,8 aA	20,7 aA	23,8 aA	18,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	15,2 aB	35,0 aA	15,5 aA	9,7 aA	12,4 aA	10,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	9,4 aB	21,1 aB	21,6 aA	14,1 aA	15,1 aA	12,9 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	75,7 A	17,6 B	15,4 A	12,9 A	11,8 A	11,5 A	$\hat{y} = 0,83x^2 - 14,4x + 66,0$	0,83**
1.016.013	16,2 aB	8,7 aB	19,3 aA	11,4 aA	6,4 aA	9,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	11,7 aB	15,6 aB	19,3 aA	12,7 aA	9,5 aA	9,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.031	30,8 aB	11,7 aB	19,3 aA	9,2 aA	12,2 aA	8,1 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- S (mg)-----								
F305	37,3 B	35,3 B	31,0 A	7,0 A	9,2 A	6,9 A	$\hat{y} = -2,91x + 39,3$	0,84*
BRS 655	20,2 aB	32,2 aB	12,9 aA	17,3 aA	26,0 aA	4,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	38,5 aB	16,0 aB	20,1 aA	12,9 aA	6,3 aA	9,0 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	40,8 aB	83,4 aA	28,5 aA	48,5 aA	28,8 aA	52,6 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	27,7 B	64,6 A	51,5 A	10,7 A	23,1 A	11,0 A	$\hat{y} = -2,84x + 49,2$	0,36*
1.016.005	16,5 aB	21,2 aB	36,5 aA	22,0 aA	25,7 aA	14,0 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	120,5 A	27,5 B	26,7 A	29,6 A	17,5 A	3,8 A	$\hat{y} = 1,0x^2 - 19,5x + 102$	0,78*
1.016.013	96,8 A	12,3 B	10,3 A	27,5 A	5,7 A	19,6 A	$\hat{y} = 1,17x^2 - 19,6x + 81,0$	0,71*
1.016.015	36,7 aB	29,8 aB	25,6 aA	19,4 aA	24,8 aA	16,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.031	47,3 aB	17,0 aB	11,6 aA	15,7 aA	18,2 aA	11,0 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--

495 Mesma letra maiúscula entre genótipos e mesma letra minúscula entre níveis de salinidade não diferem
 496 entre si respectivamente pelos testes de Scott Knott ($p < 0,05$) e Tukey ($p < 0,05$). **: * regressões
 497 significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

498

499

500 **Tabela 7.** Acúmulo de Na em folhas, colmo e raízes de dez genótipos de sorgo
 501 forrageiro irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.

Na (mg)	-----dS m ⁻¹ -----						equação de regressão	R ²
	0	2,5	5	7,5	10	12,5		
----- folhas -----								
F305	6,7 bA	7,3 bA	60,4 bA	131,6 aA	185,5 aA	129,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 655	3,2 cA	5,2 cA	63,2 aA	23,3 bC	39,0 bC	29,8 bB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	3,0 cA	3,9 cA	39,7 bB	40,5 bC	35,2 bC	109,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	14,1 A	17,8 A	77,4 A	122,6 A	132,7 B	83,6 B	$\hat{y} = 8,4x + 22,0$	0,61*
1.015.045	4,3 bA	5,6 bA	53,0 abB	76,9 aB	53,0 abC	71,8 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	3,9 cA	23,6 bA	107,3 aA	123,4 aA	93,3 aB	55,9 abB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	3,7 cA	8,1 cA	40,9 bB	128,5 aA	113,1 aB	77,9 abB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	3,9 cA	32,6 bA	65,4 abA	122,0 aA	19,7 cC	59,7 bB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	6,3 A	23,0 A	80,7 A	91,2 A	93,1 B	76,4 B	$\hat{y} = 6,5x + 21,0$	0,66*
1.016.031	3,3 cA	5,1 cA	16,6 bB	80,0 aB	97,2 aB	48,8 abB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- colmo -----								
F305	17,7 A	98,2 A	198,7 A	295,8 A	209,3 A	209,9 A	$\hat{y} = 15,8x + 72,2$	0,57**
BRS 655	9,5 bA	49,0 aB	99,5 aB	93,9 aB	82,4 aB	46,1 aC	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	10,3 bA	66,7 abB	148,1 aA	105,2 abB	92,6 abB	63,2 abC	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	11,0 A	128,5 A	195,8 A	142,4 B	274,6 A	152,3 B	$\hat{y} = 12,5x + 72,8$	0,45**
1.015.045	17,6 A	128,9 A	117,9 B	94,2 B	138,4 B	144,8 B	$\hat{y} = 7,3x + 61,2$	0,53**
1.016.005	11,2 A	101,5 A	211,9 A	213,7 B	117,0 B	219,2 A	$\hat{y} = 12,4x + 68,0$	0,48**
1.016.009	7,4 bA	36,9 bcB	94,5 abcB	193,9 aB	137,7 abB	138,6 abB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	19,9 A	59,9 B	189,6 A	266,5 A	39,3 B	54,5 C	$\hat{y} = -10,7x^2 + 192x + 87,0$	0,67**
1.016.015	12,0 bA	143,6 aA	174,5 aA	92,4 abB	144,9 aB	109,0 abC	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.031	9,8 bA	102,4 abA	65,1 bB	85,4 bB	109,5 abB	202,6 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- raízes -----								
F305	62,2 aA	129,3 aA	215,1 aB	150,9 aB	104,3 aA	83,8 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 655	58,6 aA	168,9 aA	70,2 aC	151,2 aB	124,9 aA	57,9 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	44,5 aA	63,0 aB	65,7 aC	63,3 aB	163,8 aA	176,8 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	124,9 A	227,2 A	699,0 A	655,5 A	148,3 A	100,9 B	$\hat{y} = -13,3x^2 + 162x + 77,0$	0,69*
1.015.045	65,5 aA	139,5 aA	99,3 aC	104,4 aB	58,1 aA	100,6 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	105,6 aA	142,6 aA	140,4 aB	139,8 aB	148,0 aA	94,3 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	66,7 bA	245,6 aA	140,4 abB	120,1 abB	92,1 abA	83,2 abB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	51,5 aA	63,6 aB	51,6 aC	102,8 aB	52,5 aA	96,1 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	86,9 aA	164,1 aA	85,0 aC	98,9 aB	166,9 aA	223,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.031	37,6 aA	49,7 aB	69,4 aC	66,9 aB	100,9 aA	88,7 aB	$\hat{y} = \bar{y}$	--

502 Mesma letra maiúscula entre genótipos e mesma letra minúscula entre níveis de salinidade não diferem
 503 entre si respectivamente pelos testes de Scott Knott ($p < 0,05$) e Tukey ($p < 0,05$). **: * regressões
 504 significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

505

506

507 **Tabela 8.** Acúmulo de Cl em folhas, colmo e raízes de dez genótipos de sorgo forrageiro
 508 irrigados com águas com diferentes níveis de salinidade.

Cl (mg)	----- dS m ⁻¹ -----						equação de regressão	R ²
	0	2,5	5	7,5	10	12,5		
----- folhas -----								
F305	48,2 A	212,8 A	385,2 A	625,1 A	715,9 A	468,6 A	$\hat{y} = 44,0x + 134,2$	0,68**
BRS 655	15,4 bA	72,5 aA	181,3 aB	178,4 aB	172,8 aC	111,6 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	15,5 bA	104,9 aA	125,2 aB	181,2 aB	159,0 aC	212,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	48,7 A	206,7 A	440,5 A	437,3 A	600,4 A	385,8 A	$\hat{y} = 32,7x + 149$	0,61**
1.015.045	34,1 A	151,4 A	368,2 A	277,2 B	269,5 C	332,2 A	$\hat{y} = 20,0x + 113,5$	0,57*
1.016.005	52,6 A	163,2 A	364,6 A	483,9 A	367,6 B	273,2 A	$\hat{y} = 21,0x + 153,1$	0,40*
1.016.009	18,1 cA	188,1 bA	198,7 bB	392,3 aA	418,2 aB	329,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	11,1 A	179,9 A	228,0 B	314,1 B	142,6 C	279,0 A	$\hat{y} = 15,0x + 98,6$	0,42*
1.016.015	49,3 A	183,4 A	330,0 A	366,4 A	500,2 B	286,6 A	$\hat{y} = 24,8x + 130,8$	0,56**
1.016.031	17,7 aA	121,1 aA	100,1 aB	97,6 aB	73,3 aC	276,8 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- colmo -----								
F305	45,8 A	487,4 A	752,6 A	976,0 A	645,2 A	550,1 A	$\hat{y} = 36,8x + 346,3$	0,30**
BRS 655	70,8 bA	427,9 aA	380,0 aB	414,5 aC	253,1 aB	296,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	53,7 bA	487,6 aA	297,0 abB	235,0 abC	205,6 abB	200,0 abA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	31,9 A	631,5 A	675,9 A	412,1 C	664,9 A	442,3 A	$\hat{y} = -9,4x^2 + 138x + 146$	0,59*
1.015.045	67,2 bA	431,5 aA	470,2 aB	363,4 aC	428,5 aA	359,1 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	80,7 bA	462,7 aA	589,1 aA	722,6 aB	484,1 aA	355,5 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	129,2 bA	561,0 aA	371,9 abB	499,9 abC	455,1 abA	428,7 abA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.013	53,5 cA	552,2 abA	577,4 abA	683,3 aB	240,1 bB	403,8 abA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	55,8 bA	509,0 aA	627,0 aA	346,8 aC	532,2 aA	397,6 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.031	49,1 aA	432,0 aA	380,6 aB	307,6 aC	221,4 aB	379,2 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
----- raízes -----								
F305	40,3 bB	263,4 abB	381,0 aA	220,1 abB	134,4 abA	152,9 abA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 655	37,8 bB	296,4 aA	148,8 aA	198,6 aB	294,8 aA	215,7 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
BRS 610	18,9 aB	154,2 aB	127,0 aA	142,1 aB	154,0 aA	143,3 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
Volumax	57,8 bB	411,9 aA	295,5 abA	225,5 abB	265,4 abA	256,9 abA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.015.045	37,7 bB	452,8 aA	202,4 abA	143,3 bB	186,5 abA	238,9 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.005	53,5 bB	204,8 aB	272,8 aA	199,0 aB	206,7 aA	167,4 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.009	122,4 A	213,1 B	342,7 A	211,9 B	169,0 A	131,1 A	$\hat{y} = -3,8x^2 + 45,1x + 134,7$	0,67*
1.016.013	53,4 bB	134,5 B	260,8 abA	519,9 aA	76,6 bA	163,7 bA	$\hat{y} = \bar{y}$	--
1.016.015	38,1 B	324,7 A	360,0 A	196,7 B	145,5 A	166,9 A	$\hat{y} = -4,8x^2 + 59,1x + 109,8$	0,47*
1.016.031	123,1 aA	193,7 aB	230,9 aA	145,5 aB	185,9 aA	123,0 aA	$\hat{y} = \bar{y}$	--

509 Mesma letra maiúscula entre genótipos e mesma letra minúscula entre níveis de salinidade não diferem
 510 entre si respectivamente pelos testes de Scott Knott ($p < 0,05$) e Tukey ($p < 0,05$). **; * regressões
 511 significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

512

6. CONCLUSÃO GERAL

Os genótipos de sorgo forrageiro estudados são similarmente afetados pelo aumento da salinidade, o que refletiu em um padrão semelhante quanto às reduções no crescimento e produtividade, bem como no acúmulo e distribuição dos macronutrientes em folhas, colmos e raízes.

Devido a sua moderada tolerância a salinidade, pode-se recomendar o uso dos genótipos de sorgo forrageiro estudados para serem cultivados em áreas que apresentam problemas de salinidade moderada ou para utilização de águas de baixa qualidade para irrigação.

Verifica-se também que a moderada tolerância a salinidade do sorgo forrageiro provavelmente está associada a ativação de mecanismos como restrição no acúmulo de sódio nas folhas, aumento da eficiência do uso da água, ajustamento osmótico, com acúmulo predominante de açúcares solúveis, principalmente não redutores, e manutenção na síntese e proteção de pigmentos como as clorofilas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O.A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, 234 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura, Dados Eletrônicos).

ALSCHER, R. G.; DONAHUE, J. L.; CRAMER, C. L. Reactive oxygen species and antioxidants: relationship in green cells. **Physiologia Plantarum**, v.100, p.224-233, 1997.

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, p.961-971, 2007.

ARAÚJO, S. A.M.; SILVEIRA, J.A.G.; ALMEIDA, T.D.; ROCHA I.M.A; MORAIS, D.L.; VIÉGAS, R.A.. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p. 848-854, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: DEAg/CCT, Universidade Federal da Paraíba. 1999. 153p.

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.414-419, 2002.

BOSCO, M.R.O.; OLIVEIRA, A.B.; HERNANDEZ, F.F.F.; LACERDA, C.F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p.157-164, 2009.

BUSO, W.H.D.; MORGADO, H.S.; SILVA, L.B.; FRANÇA, A.F.S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.5, n.23, ed.170, art. 1145, 2011.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E.F.; CALDAS, R.C.; ALMEIDA, A.Q. QUEIROZ J.R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v.65, n.2, p. 275-284, 2006.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 130-141.

ESTEVES, B.S.; SUZUKI, M.S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia brasiliensis**, v.12, n.4, p.662-679, 2008.

FAO. **Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils**. Rome: FAO Land and Plant Nutrition Management Service, 2005.

FERREIRA, P.A.; SILVA, J.B.L.; RUIZ, H.A. **Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 130-141.

FIGUEIRÊDO, V.B. **Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

FLORES, H.E. **Polyamines and plant stress**. In: LASCHER, R.G.; CUMMING, J.R. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. New York, Wiley-liss, p. 217-39, 1990.

FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. **Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade de Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2007. 1017p.

GHOULAM, C.; FOURSY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, p. 39-50, 2002.

HASEGAWA, P.; BRESSAN, R.A.; ZHU, J.K.; BOHNERT, J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.51, p.463-499, 2000

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A.; FERREIRA-NETO, M.; HOLANDA, A.C.

Qualidade de água para irrigação. In: GHERY, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472 p.

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.

LACERDA, C.F.; COSTA, R.N.T.; BEZERRA, M.A. GHERY, H.R. **Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura.** In: In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 303-317.

LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A. **Cultivo de sorgo: Clima.** Sistema de Produção, 2, 6 ed, 2010. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: < http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/clima.htm > Acessado em: 03 fev 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Ed. Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LIMA, L. A., **Efeitos de sais no solo e na planta.** Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, Campina Grande: UFPB, 1997. pg. 113 – 133.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. **Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais**. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. p.239-284.

MEDEIROS, J.F.; LISBOA, R.A.; OLIVEIRA, M. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão na chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.469-472, 2003.

MEDEIROS, J.F.; NASCIMENTO, I.B. GHERY, H.R. **Manejo do solo-água-planta em área afetadas por sais**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 280-302.

MUNNS, R.. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, p.239-250, 2002.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v. 167, n. 03, p.45-663, 2005.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; CORREIA, K.G.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O.A. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.358-365, 2010.

OLIVEIRA, A.B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, p.1-16 2010.

OLIVEIRA, L.A.A.; BARRETO, L.P.; BEZERRA-NETO, E.; SANTOS, M.V.F.; COSTA, J.C.A. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.31-35, 2006.

OLIVEIRA, M.O.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.17-21, 1998.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B.; MITTRA, B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. **Trees –Structure and Function**, v.18, n.2, p.167-174, 2004.

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. **Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas**. In: GHERY, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472 p.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.A.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 64-82.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. **Águas doces no Brasil**. 2 ed. Escrituras: São Paulo, 2002.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 48.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. **Química dos solos salinos e sódicos**. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

SANTANA, M.J.; CARVALHO, J.A.; SOUZA, K.J.; SOUSA, A.M.G.; VASCONCELOS, C.L.; ANDRADE, L.A.B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência Agrotécnica**, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

SANTI, G.R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SEQUINATTO, L.; OSÓRIO FILHO, B.; KUNZ, M.; FONTINELLI, F. Características físicas do solo da microbacia hidrográfica de Cândido Brum – Arvorezinha-RS.. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 14, Cuiabá, 2002. **Anais...** UFMT: Cuiabá, 2002.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.2, p.213-220, 1997.

SILVA, E.N.; SILVEIRA, J.A.G.; FERNANDES, C.R.R.; DUTRA, A.T.B.; ARAGÃO, R.M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansão sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p. 240-246, 2009.

SILVA, J. S. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos à salinidade**. Fortaleza, CE, 2003, 109p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, 2003.

SILVA, L.C. **Efeitos da salinidade e regime de água do solo sobre as culturas**. In: AYERS, R.S. ; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

SILVA, M.O. **Crescimento de melão, características químicas de solos e lixiviados sob irrigação com águas salinas**. Recife, PE, 2006, 63p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia, 2006.

SOARES, T. M.; DUARTE, S.N.; SILVA, E.F.F.; JORGE, C.A. **Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.7, p. 705-714, 2010.

SPERA, S.T.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; SANTOS, H.P.; FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. especial, p.2613-2620, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p

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.

YAMAGUCHI, T.; BLUMWALD, E. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. **Trends in Plant Science**, Killington, v.10, n.12, p.615-620, 2005.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 06, n. 05, p. 441-445, 2003.