



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

CAMPUS MOSSORÓ

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS VEGETAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MONIQUE CRISTINA SIMÃO LOPES

**INCREMENTO DE POTÁSSIO EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus*
L.) SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO**

MOSSORÓ - RN
2015

MONIQUE CRISTINA SIMÃO LOPES

**INCREMENTO DE POTÁSSIO EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus*
L.) SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Agronomia: Fitotecnia.

Orientadora: Prof.^a Dra.Sc. Cristiane Elizabeth
Costa de Macêdo - UFRN

MOSSORÓ - RN
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

Lopes, Monique Cristina Simao.

Incremento de potássio em plantas de girassol *Helianthus annuus* L.
submetidas ao estresse salino / Monique Cristina Simao Lopes. -
Mossoró, 2015.

76f: il.

1. Girassol. 2. Salinidade. 3. Estresse hídrico. 4. Ajustamento osmótico.
5. Potencial produtivo - girassol. I. Título

RN/UFERSA/BCOT/442

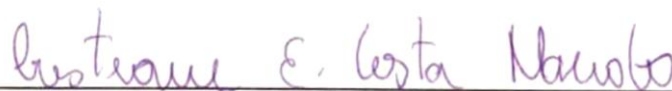
CDD 633.85 L864i

MONIQUE CRISTINA SIMÃO LOPES

**INCREMENTO DE POTÁSSIO EM PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus*
L.) SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Agronomia: Fitotecnia.

APROVADA EM: 20 / 03 / 2015



Prof. Dra. Cristiane Elizabeth C. de Macêdo
UFRN
Orientadora



Prof. Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes
UFERSA
Conselheiro



Prof. Dra. Rosa Rodes Garcia
Universidad de la Habana
Conselheira

MOSSORÓ - RN
2015

Dedico

A Deus Pai e Todo Poderoso “Deus
disse: de maneira alguma te deixarei,
nunca, jamais te abandonarei”

(Hebreus 13:5)

À meus pais, pelo amor incondicional, e por tudo o que eu sou hoje

Aos meus irmãos, pelo carinho e incentivo

Ao meu noivo, por todo o amor, força e paciência

Aos meus amigos, pelo apoio

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e glória para todo o sempre.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), ao curso de Pós-graduação em Fitotecnia. Aos professores do programa. A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A UFRN e Laboratório de Estudos em Biotecnologia Vegetal pelas instalações e acolhimento ao desenvolver essa pesquisa;

A EMPARN, pelo apoio e fornecimento das sementes, para a realização deste trabalho;

A minha orientadora Profa. Cristiane Macêdo, por todo incentivo, apoio e (principalmente) paciência comigo. Pelo ensino e fornecimento de boas condições de estudo e pesquisa no laboratório. Obrigado por sempre acreditar no meu potencial, e não ter desistido de mim;

Aos professores, Glauber Henrique de Souza Nunes da UFERSA e Rosa García da Universidad de la Habana, por terem aceitado o convite para participar da banca da minha dissertação;

Ao professor Lóiret Fernadéz García da Universidad de la Habana, por todo o conhecimento repassado para realização de parte deste trabalho;

A toda equipe do Laboratório, em especial aos coleguinhas Yuri e Lisiane, sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus pais, Francisco de Assis Lopes e Maria Simão Bezerra Lopes, por terem me ensinado tudo o que sou e sei, por terem gastado tempo e esforço para fazer de mim a mulher que sou hoje; por sempre lutarem pelo melhor para minha vida.

Aos meus irmãos, Samara e Samuel, por todo amor, carinho e incentivo.

Ao meu noivo, Francisco Alves, por todo amor, carinho, atenção e paciência. Pelo companheirismo constante na minha vida, inclusive ficar no laboratório e me ajudar na realização de algumas atividades.

A todos os meus amigos e familiares, que contribuíram de forma direta e/ou indiretamente para concretização deste trabalho. Muito obrigada!

RESUMO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa que tem o crescimento e o potencial produtivo afetado por desordens nutricionais induzidas pelo estresse salino. A ação dos íons Na^+ e Cl^- comprometem enzimas e membranas, além de diminuir a capacidade de absorção de potássio, um componente essencial para o ajustamento osmótico celular e condutância estomática. Sabendo-se da importância desta oleaginosa e do potássio sobre o desenvolvimento de plantas em ambiente salino, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do incremento de K^+ em duas cultivares de girassol submetidas ao estresse salino, através de uma análise de indicadores de crescimento, status hídrico e uma possível contribuição de solutos inorgânicos e orgânicos no ajustamento osmótico do girassol. Plântulas de duas cultivares de girassol (Catissol 01 e Hélio 253) foram submetidas ao estresse salino simulado pelo cloreto de sódio (NaCl) e ao fornecimento de K^+ à solução salina, em cultivo hidropônico durante 10 dias em casa de vegetação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, utilizando três tratamentos (Controle; Sal e Sal + K) e onze repetições. Foram determinadas a taxa de crescimento absoluta (TCA), taxa de crescimento relativa (TCR), relação da área foliar (RAF), relação do peso foliar (RPF), relação do peso radicular (RPR), relação da parte aérea com o sistema radicular (RPASR), conteúdo relativo de água (CRA), percentual de umidade (U), vazamento de eletrólitos (VE), conteúdo dos íons Na^+ e K^+ , conteúdo de açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos livres totais (AALT), proteínas solúveis totais (PST) e prolina (PRO). A salinidade afetou o crescimento das plantas, provocando uma redução nas TCA, TCR, RAF e RPF, assim como no CRA nas folhas de ambas as cultivares, sendo o efeito do NaCl mais expressivo em Catissol 01. Nas raízes e independente da cultivar, o CRA e a U não foram afetados pela salinidade. A imposição do estresse salino causou um aumento significativo no VE em ambas as cultivares, sendo o dano as membranas celulares mais intenso em Catissol 01. O incremento de K^+ à solução salina interferiu apenas no VE, causando efeito contrário nas cultivares. A presença de NaCl promoveu um maior acúmulo dos íons Na^+ em ambas as cultivares, sendo mais expressivo em Catissol 01. Adicionalmente, foi a cultivar que apresentou melhor resposta ao incremento de K^+ à solução salina (S + K). Os conteúdos de AST e AALT em Catissol 01 diminuíram, enquanto PST e PRO aumentaram com a salinidade, em relação ao controle. Já em Hélio 253 houve uma diminuição de AST e um aumento de AALT. O incremento de K^+ à solução salina (S + K), promoveu um aumento no acúmulo de AST e AALT em Catissol 01, e um aumento de PST e PRO em Hélio 253, com relação ao tratamento salino. Os resultados obtidos indicam que os tratamentos com NaCl foram capazes de induzir alterações nos parâmetros de crescimento, assim como no conteúdo de solutos inorgânicos e orgânicos de ambas as cultivares. Catissol 01 e Hélio 253 respondem de forma diferenciada aos efeitos da salinidade e ao fornecimento de K^+ quanto ao acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos, mostrando que a resposta das plantas é cultivar e dose dependente. Hélio 253 é mais eficiente quanto à acumulação de Na^+ , pois garante seu desenvolvimento em ambiente salino sem ser afetado por toxicidade iônica. Embora o acúmulo de AST, AALT, PST e PRO, estejam relacionados ao ajustamento osmótico, é possível que a acumulação destes solutos tenha ocorrido em decorrência de distúrbios metabólicos promovidos pela salinidade.

Palavras-chave: salinidade, crescimento, estresse hídrico, ajustamento osmótico.

ABSTRACT

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an oleaginous that has its growth and productive potential affected by nutritional disorders induced by the high saline stress. The action of the ions Na^+ e Cl^- – compromise enzymes and membranes, beyond decreasing the capacity of potassium absorption an essential component for the cellular osmotic adjustment and the stomatal conductance. Knowing the importance of the oleaginous and potassium with relation to development of plants in saline ambiances, this task had like objective evaluating the influence of K^+ increment in two cultivars of sunflowers submitted to saline stress, through an analysis on growing indicators hydric status and a possible contribution of organic and inorganic solutes in osmotic adjustment of sunflowers. Seedlings of two sunflower cultivars (Catissol 01 and Hélio 253) were submitted to saline stress simulated by sodium chloride (NaCl) and to supply of K^+ to saline solution, on hydroponic cultivation for 10 days in a greenhouse. The experimental delineation was entirely randomised, using three treatments (Control, Salt and Salt + K) and eleven repetitions. It was determined the absolute growth rate (TCA), relative growth rate (TCR), leaf area ratio (RAF), leaf weight ratio (RPF), root weight ratio (RPR), relation of the aerial part with the root system (RAPRS), relative water content (CRA), percentage of moisture (U), electrolytes leakage (VE), content of ions Na^+ e K^+ , content of total soluble sugars (AST), total free amino acids (AALT), total soluble proteins (PST) and proline (PRO). Salinity affected the plants growth, causing a reduction on TCA, TCR, RAF and RPF, such as on CRA in the leaves of both cultivars, being the effect of NaCl more expressive in Catissol 01. In the roots and independent of cultivars, CRA and the U were not affected by salinity. The imposition of saline stress caused a significant increase on VE in both cultivars, being the damage in the cellular membranes intenser in Catissol 01. The increment of K^+ to saline solution interfered only the VE, causing contrary effect in the cultivars. The presence of NaCl promoted a bigger accumulation of ions Na^+ in both cultivars, being more expressive in Catissol 01. Additionally, it was the cultivation that presented a better response to the increment of K^+ to saline solution (S+K). The contents of AST and AALT in Catissol 01 decreased while PST and PRO increased with salinity, with relation to the control. Already in the Hélio 253 there was a decrease of AST and a increase of AALT. The increment of K^+ to saline solution (S + K) promoted increases in AST and AALT accumulation in Catissol 01, and an increase in Hélio 253 PST and PRO 253, with respect to saline treatment. The obtained results indicate that the treatments with NaCl were capable of inducing alterations on growing parameters, as well on the content of inorganic and organic solutes of both cultivars. Catissol 01 and Hélio 253 respond of a differentiated form to the effects of salinity and to the supply of K^+ with relation to the accumulation of inorganic and organic solutes, showing that the response of plants to cultivate and is dose dependent. Hélio 253 is more efficient on the accumulation of Na^+ , because it ensures its development in saline environment without being affected by ion toxicity. Although the accumulation of AST, AALT, PST and PRO, are related to the osmotic adjustment, it is possible that the accumulation of these solutes have occurred due to disorders promoted by salinity.

Key words: salinity, growth, water stress, osmotic adjustment

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Produção mundial de óleo de girassol.....	20
Tabela 2	Girassol grão: comparativo de área, produtividade e produção Safras 2012/13 e 2013/14.....	20
Tabela 3	Tratamentos aplicados em plantas de girassol (<i>Hellia annuus</i> L.).....	30
Tabela 4	Teste de contrastes para variáveis taxa de crescimento absoluto – TCA (g dia ⁻¹), taxa de crescimento relativo - TCR (%) (B), relação da área foliar - RAF (cm ² g ⁻¹), relação do peso foliar – RPF (g g ⁻¹), relação do peso radicular – RPR e relação da parte aérea com o sistema radicular – RPASR (g g ⁻¹) na cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	41
Tabela 5	Teste de contrastes para variáveis taxa de crescimento absoluto – TCA (g dia ⁻¹), taxa de crescimento relativo - TCR (%) (B), relação da área foliar - RAF (cm ² g ⁻¹), relação do peso foliar – RPF (g g ⁻¹), relação do peso radicular – RPR e relação da parte aérea com o sistema radicular – RPASR (g g ⁻¹) na cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	42
Tabela 6	Teste de contrastes para os indicadores de status hídrico, através das variáveis conteúdo relativo de água – CRA (%) em folhas e raízes, percentual de umidade - %U em folhas e raízes, e vazamento de eletrólitos – VE (%) em folhas e raízes da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	45
Tabela 7	Teste de contrastes para os indicadores de status hídrico, através das variáveis conteúdo relativo de água – CRA	

	(%) em folhas e raízes, percentual de umidade - %U em folhas e raízes, e vazamento de eletrólitos – VE (%) em folhas e raízes da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	45
Tabela 8	Teste de contrastes para variáveis concentração de íons sódio (Na ⁺) (mmol/Kg MS) e potássio (K ⁺) (mmol/Kg MS) em folhas e raízes da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	49
Tabela 9	Teste de contrastes para variáveis concentração de íons sódio (Na ⁺) (mmol/Kg MS) e potássio (K ⁺) (mmol/Kg MS) em folhas e raízes da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	49
Tabela 10	Razões de K ⁺ /Na ⁺ (mmol/Kg MS) em folhas de plantas de <i>Helianthus annuus</i> L., submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico....	50
Tabela 11	Razões de K ⁺ /Na ⁺ (mmol/Kg MS) em raízes de plantas de <i>Helianthus annuus</i> L., submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico....	50
Tabela 12	Teste de contrastes para variáveis conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) – (μmol de GLU/g MS) e conteúdo de aminoácidos livres totais (ALLT) – (μmol de GLU/g MS) em folhas e raízes, de plantas da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	53

Tabela 13	Teste de contrastes para variáveis conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) – (µmol de GLU/g MS) e conteúdo de aminoácidos livres totais (ALLT) – (µmol de GLU/g MS) em folhas e raízes, de plantas da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	53
Tabela 14	Teste de contrastes para variáveis conteúdo de prolina (PRO) – (µmol de PRO/g MS) e conteúdo de proteínas solúveis totais (PST) – (µmol de PRO/g MS) em folhas e raízes de plantas da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	56
Tabela 15	Teste de contrastes para variáveis conteúdo de prolina (PRO) – (µmol de PRO/g MS) e conteúdo de proteínas solúveis totais (PST) – (µmol de PRO/g MS) em folhas e raízes de plantas da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K ₂ HPO ₄ , durante 10 dias em cultivo hidropônico.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Plantas de girassol cultivadas em frascos plásticos contendo solução hidropônica aerada.....	30
----------	--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS.....	17
2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	18
2.3 PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	20
2.4 AS CARACTERÍSTICAS DO NORDESTE BRASILEIRO: SECA E SALINIDADE.....	21
2.4.1 Efeitos da salinidade no desenvolvimento das plantas.....	22
2.4.2 Mecanismos de resistência- Ajustamento osmótico.....	24
2.4.3 O papel do potássio no desenvolvimento de plantas.....	25
3 OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
4 HIPÓTESES	28
5 MATERIAL E MÉTODOS	28
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	28
5.2 MATERIAL VEGETAL E OBTENÇÃO DAS PLÂNTULAS DE GIRASSOL.....	29
5.3 CULTIVO HIDROPÔNICO.....	29
5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	31
5.5 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE CRESCIMENTO.....	31
5.5.1 Taxa de crescimento absoluto (TCA).....	31
5.5.2 Taxa de crescimento relativo (TCR)	31
5.5.3 Área foliar (A)	32
5.5.4 Relação da área foliar (RAF)	32
5.5.5 Relação do peso foliar (RPF)	32
5.5.6 Relação do peso radicular (RPR)	32
5.5.7 Relação da parte aérea com o sistema radicular (RPASR).....	32
5.6 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE STATUS HÍDRICO	33
5.6.1 Conteúdo relativo de água (CRA) e percentual de umidade (%U)	33
5.6.2 Danos de membrana (DM)	33
5.7 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE AJUSTAMENTO OSMÓTICO.....	34
5.7.1 Extração das amostras para quantificação de proteínas solúveis totais (PST)	34
5.7.2 Extração das amostras para quantificação dos solutos orgânicos (aminoácidos livres totais (AALT), prolina (PRO)	34
5.7.3 Extração das amostras para quantificação de açúcares solúveis totais (AST)	34
5.7.4 Determinação dos solutos inorgânicos (Na ⁺ e K ⁺)	34
5.7.5 Determinação de proteínas solúveis totais (PST)	35
5.7.6 Determinação de aminoácidos livres totais (AALT)	35
5.7.7 Determinação de prolina (PRO)	36

5.7.8 Determinação de açúcares solúveis totais (AST).....	36
5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Indicadores de crescimento.....	37
6.2 Indicadores de status hídrico.....	42
6.3 Solutos inorgânicos (Na ⁺ e K ⁺).....	46
6.4 Solutos orgânicos (açúcares solúveis totais, aminoácidos livres totais, prolina e proteínas solúveis totais)	50
CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO GERAL

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é caracterizado como uma glicófita da família Asteraceae, economicamente importante, com ciclo fenológico anual. Originária dos Estados Unidos e México, o girassol é cultivado praticamente em todos os continentes (ARRUDA, 2010). Atualmente, seu cultivo abrange uma área que atinge aproximadamente 18 milhões de hectares. Entre os maiores produtores mundiais estão a Ucrânia e a Rússia (USDA, 2014).

De acordo com Uchôa et al. (2011), a cultura do girassol possui um dos maiores índices de crescimento no mundo, por apresentar ampla adaptabilidade, alta tolerância à seca, alto rendimento de grãos e de óleo. Estas características contribuíram com a inserção da mesma no programa nacional de produção e uso de biodiesel (UNGARO, 2006). No Brasil, o interesse pelo plantio de girassol vem crescendo devido à busca por novas opções de cultivo para a agricultura familiar e devido suas diversas formas de aproveitamento, dentre estas se destaca o uso medicinal, em adubação verde, em rotação de culturas, na apicultura, na alimentação de animais, na produção de óleo, para alimentação humana e além do aumento da demanda das indústrias por óleo de melhor qualidade para produção de biocombustíveis (DA SILVA et al, 2011).

Em regiões áridas e semiáridas, a alta concentração de sais é um fator de estresse às plantas, causando efeitos osmóticos e iônicos. Inicialmente, a absorção de água pelas raízes é reduzida, conseqüentemente a nutrição mineral é afetada e em seguida ocorre uma toxidez iônica (SANTANA et al., 2009). Esses efeitos levam a um desequilíbrio nutricional, provocando uma redução generalizada do crescimento e provocando sérios prejuízos à atividade agrícola (CAVALCANTE et al., 2010).

Para suportar o estresse salino, as plantas têm desenvolvido mecanismos complexos, que contribuem para a adaptação aos estresses osmótico e iônico provocados pela salinização dos solos (DIAS & BLANCO, 2010). Esses mecanismos incluem o ajustamento osmótico, que é usualmente acompanhado pela absorção de íons inorgânicos, bem como pela acumulação de solutos orgânicos compatíveis (STRANGE, 2004; DIAS & BLANCO, 2010). Íons inorgânicos como o K^+ , são compartimentalizados no vacúolo, enquanto os solutos orgânicos (osmoprotetores) são compartimentalizados no citoplasma, para balancear o baixo potencial osmótico nos vacúolos (TAIZ & ZEIGHER, 2004).

Em condições salinas, além de efeitos tóxicos devido ao acúmulo de sais no protoplasma, a disponibilidade de nutrientes é geralmente reduzida e, assim, a demanda de elementos essenciais para a planta é aumentada (SANTANA et al., 2009). Altas quantidades de Na^+ reduzem a absorção de nutrientes essenciais, principalmente o potássio, que desempenha uma grande variedade de funções nos processos metabólicos (FARIAS et al., 2009). O K^+ age como agente ativador de mais de quarenta enzimas, está envolvido na síntese de proteínas, atua no controle osmótico das células e contra-íon de cargas negativas, é responsável pela abertura e fechamento dos estômatos, está envolvido na fotossíntese, assume papel importante no transporte da sacarose e dos fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento e ainda está envolvido nos mecanismos de defesa das plantas a pragas e doenças (MEURER, 2006).

Plantas deficientes em potássio apresentam menor turgor da célula, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular, redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar, e também maior taxa de respiração (CASTRO et al., 2006; FARIAS, 2009). Plantas bem nutridas com K^+ são mais resistentes a condições de seca e salinidade, em razão da maior retenção de água. Portanto, a manutenção dos níveis de K^+ no citoplasma é essencial para a sobrevivência em ambientes salinos, onde predomina elevados teores de sódio (Na^+) pois este íon compete com o potássio devido à similaridade de suas cargas (FARIAS 2009).

Neste sentido, em girassol, trabalhos foram realizados com a adição de diferentes fontes de potássio para minimizar os efeitos provocados pela salinidade, Delgado & Sánchez-Raya 1999 e Abadi et al., 2008, utilizaram K_2SO_4 , Akram et al., 2007 e Akram & Ashraf 2009, utilizaram KOH , Soleimanzadeh et al., 2010 e Jabeen & Ahmad 2011, utilizaram KNO_3 . Dentre os resultados obtidos, alguns observaram que o fornecimento de K^+ em condições de estresse salino, melhorou o desenvolvimento das plantas, revertendo os efeitos deletérios causados pela salinidade.

Entretanto, trabalhos com a adição de K^+ , tendo como fonte KH_2PO_4 em solução de hidroponia ainda são escassos. Assim, para garantir a implantação da cultura do girassol em larga escala para a produção de biodiesel no semiárido nordestino, faz-se necessário estudos de caracterização fisiológica, bioquímica e molecular, associados à busca de estratégias para minimizar os efeitos deletérios causados pelo sal.

Assim, o objetivo central do presente trabalho foi avaliar o desempenho de duas cultivares de girassol submetidas ao estresse salino, através de uma análise de

indicadores de crescimento, status hídrico, estresse iônico e ajustamento osmótico, quanto a resposta ao fornecimento de potássio em solução hidropônica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características botânicas

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta dicotiledônea anual pertencente à ordem Asterales, família Asteraceae, subfamília Asteroideae e tribo Heliantheae. A espécie é originária do continente americano e tem como centro de origem o México, mas apresenta grande adaptação a diferentes condições ambientais, ocupando diversos habitats como regiões tropicais, subtropicais e temperadas (LEITE et al., 2005; CASTRO & FARIAS, 2005). Devido à etimologia da palavra e a sua intrigante rotação sempre voltada para o Sol (heliotropismo), o girassol também é conhecido como “flor do sol”.

O girassol apresenta porte alto, raízes profundas e uma grande diversificação de características fenotípicas, com caule robusto e ereto, geralmente sem ramificações e com diâmetros variando entre 15 e 90 mm. Quanto à altura, são observadas variações de 0,5 a 4,0 m, as folhas são alternadas e pecioladas, com comprimentos de 8 a 50 cm e com um número de folhas por caule variando entre 8 e 70. A inflorescência é um capítulo, onde se desenvolvem os grãos, denominados aquênios (CASTIGLIONI et al., 1994). A inflorescência pode ter formação plana, convexa ou côncava, com flores que se desenvolvem do exterior para o interior do capítulo, dando origem aos frutos. Os capítulos têm diâmetros de 6 a 50 cm, contendo de 100 a 8000 flores. O caule e o capítulo são os componentes de maior participação na produção de massa do girassol (CASTRO et al., 1997).

Os aquênios têm formas oblongas, geralmente achatada, composto de pericarpo, mesocarpo e endocarpo de tamanho, cor e teor de óleo variável conforme as características de cada cultivar. As amêndoas contêm baixo teor de fibras, entretanto são ricas em óleo e proteínas. A casca contém uma baixa percentagem de óleo (0,4 a 1,7%) e proteína bruta 1,7 a 4,5% com cerca de 50% de fibra crua (ABOISSA, 2005). O girassol possui ciclo vegetativo relativamente curto, variando entre 90 e 130 dias. Em média, 60 dias após a semeadura ocorre o florescimento possibilitando a fecundação

cruzada, sendo feita basicamente por insetos, particularmente as abelhas (CASTRO et al., 1997; ABOISSA, 2005).

2.2 Importância econômica

O girassol produz óleo de excelente qualidade, em média 400 kg de óleo para cada tonelada de grão. O girassol ainda produz cerca de 350 kg de torta, para arraçamento animal, com 45 a 50% de proteína bruta, além de 250kg de cascas. Embora possa ser cultivada como planta medicinal, melífera, produtora de silagem e de forragem, como adubação verde, melhoradora do solo e ornamental, a maior utilização do girassol está no aproveitamento dos grãos, os quais constituem a matéria-prima para a obtenção de uma série de subprodutos de elevada importância econômica (VIEIRA, 2005). Os grãos são bastante ricos em óleo, entre 30 e 50% dependendo do cultivar e do ambiente no qual é cultivado. O óleo apresenta alta qualidade nutricional para o consumo humano e caracteriza-se, entre tantas e importantes propriedades, por resistir a baixas temperaturas (-15°C) sem se congelar e nem se turvar, e por ser semi-secativo, apresentando um índice de iodo, que no Brasil, pode variar entre 85 e 135, dependendo das condições ambientais durante a fase de enchimento de grãos (REGITANO NETO, 2011).

Quanto à produção mundial de grãos de girassol, a safra 2013/14, segundo o USDA - abril/2014 foi de 43,8 milhões de toneladas, aumento de 20,2%, se comparada com a safra passada. O maior produtor e consumidor de grãos de girassol é a Ucrânia, com uma produção na ordem de 12,5 milhões de toneladas, com um consumo em torno de 11,3 milhões de toneladas seguida da Rússia com uma produção de 10,5 milhões de toneladas (Gráfico 1).

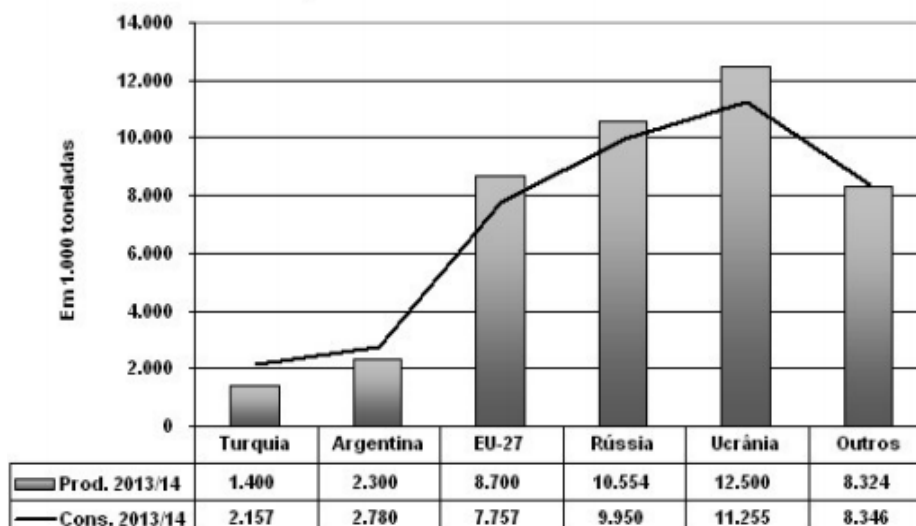


Gráfico 1: Girassol grão: Produção e consumo mundial – Safra 2013/14

*Fonte USDA – abril/2014

A produção mundial de óleo de girassol na safra 2013/14 foi de 15,9 milhões de toneladas, aumento de 17,8%, se comparada com a safra 2012/13. O maior produtor é a Ucrânia, com uma produção de 4,7 milhões de toneladas. O maior consumidor, União Europeia, com consumo em torno de 3,7 milhões de toneladas, aumento de 1,8% se comparado com a safra passada. O consumo mundial é de 14,6 mil toneladas, aumento de 9,1% em relação à safra 2012/13. A Rússia vem em segundo lugar, tanto na produção como no consumo (Tabela 1).

No mercado nacional, segundo a Conab 2014, para a safra 2013/14, realizado no mês de abril/2014, a estimativa foi de que a área do cultivo de girassol, para a safra 2013/14 deverá ser da ordem de 139,9 mil hectares, ou seja, aumento expressivo de 99,6%, se comparado com o da safra passada. Destaca-se o Estado do Mato Grosso com uma área em torno de 118,9 mil hectares, aumento da ordem de 134,5%, correspondendo a 85,0% e 86,0% de sua participação na área e na produção, respectivamente. Em seguida vem o Estado de Mato Grosso do Sul com 3,0 mil hectares. Embora com uma participação pequena na área plantada, teve um aumento expressivo em torno de 233,3%, em comparação à safra passada (Tabela 2). As estimativas de produção nacional de girassol para a safra 2013/14 devem girar em torno de 207,8 mil toneladas, ou seja, 88,9% superiores à safra passada.

Tabela 1: Produção mundial de óleo de girassol em mil toneladas

Países	2011/12	2012/13	2013/14	Variação (%)	
	a	b	c	b/a	c/b
Argentina	1.565	990	1.170	-36,7	18,2
Rússia	3.552	3.117	3.798	-12,2	21,8
Turquia	718	769	918	7,1	19,4
Ucrânia	4.347	3.630	4.670	-16,5	28,7
EU-27	2.937	2.753	2.937	-6,3	6,7
Outros	2.219	2.274	2.449	2,5	7,7
Total	15.338	13.533	15.942	-11,8	17,8

*Fonte: USDA abril/2014

Tabela 2: Girassol grão: comparativo de área, produtividade e produção Safras 2012/13 e 2013/14

REGIÃO/UF	Área (Em mil ha)			Produtividade (Em kg/ha)			Produção (Em mil t)			Produção	Área
	12/13	13/14	Var.%	12/13	13/14	Var. %	12/13	13/14	Var.%	(%)	(%)
Nordeste	0,5	0,5	0,0	422	422	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,4
CE	0,2	0,2	0,0	456	456	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
BA	0,3	0,3	0,0	400	400	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2
Centro-Oeste	55,2	125,5	127,4	1.682	1.393	-17,2	91,9	187,7	104,2	90,3	89,7
MT	50,7	118,9	134,5	1.671	1.503	-10,1	84,7	178,7	111,0	86,0	85,0
MS	0,9	3,0	233,3	1.810	1.150	-36,5	1,6	3,5	118,8	1,7	2,1
GO	3,6	3,6	0,0	1.564	1.525	-2,5	5,6	5,5	-1,8	2,6	2,6
SUDESTE	11,0	11,0	0,0	1.192	1.400	17,4	13,1	15,4	17,6	7,4	7,9
MG	11,0	11,0	0,0	1.192	1.400	17,4	13,1	15,4	17,6	7,4	7,9
SUL	3,4	2,9	-14,7	1.394	1.318	-5,5	4,8	4,5	-6,3	2,2	2,1
PR	0,7	0,1	-85,7	1.083	1.083	0,0	0,8	0,1	-87,5	0,0	0,1
RS	2,7	2,8	3,7	1.475	1.552	5,2	4,0	4,4	10,0	2,1	2,0
NORTE/NORDESTE	0,5	0,5	0,0	428	428	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,4
CENTRO-SUL	69,6	139,4	100,3	1.423	1.370	-3,7	109,8	207,6	89,1	99,9	99,6
BRASIL	70,1	139,9	99,6	1.570	1.476	-6,0	110,0	207,8	88,9	100	100

*Fonte: CONAB – Levantamento de Safra: abr./2014

2.3 Produção de biocombustíveis

O cultivo de girassol tem hoje abrangência mundial, colocando a espécie atualmente na quinta colocação dentre as oleaginosas mais produzidas e a quarta em produção de óleo no mundo, ficando atrás apenas do dendê, soja e canola (USDA 2014).

A maior parte do biodiesel produzido no mundo deriva do óleo de soja e canola (CANAKCI & VAN GERPEN, 2001), porém, segundo Parente (2003), todos os óleos vegetais podem ser transformados em biodiesel. Dentre eles, o óleo de girassol destaca-se por suas excelentes características físico-químicas, cuja produção da oleaginosa está

entre as maiores culturas do mundo (BELTRÃO & OLIVEIRA, 2007), apresentando viabilidade técnico-ambiental na produção de biocombustíveis (EMBRAPA, 2009).

No Brasil, o interesse pelo plantio de girassol vem crescendo devido à busca por novas opções de cultivo para a agricultura familiar e diversificação de culturas, além do aumento da demanda das indústrias por óleo de melhor qualidade para produção de biocombustíveis (ANP, 2009). O Brasil detém um grande potencial para a exploração de espécies oleaginosas visando a produção de biocombustíveis, uma vez que possui uma grande extensão territorial destinada para fins agrícolas. Atualmente, existem 48 espécies autorizadas para a comercialização do biodiesel, dentre as espécies comercializadas, encontra-se o girassol (ANP, 2009).

Contudo, o Brasil ainda é um produtor pouco expressivo de girassol. Este fato possibilitou a implantação do Programa Nacional de Biocombustíveis em 2002, pelo Governo Federal, visando beneficiar grande número de agricultores no Nordeste, estimulando o cultivo de culturas oleaginosas, dentre elas o girassol (TRAVASSOLS et al., 2011), principalmente em áreas onde predominam a agricultura familiar (CAMARA, 2007).

Segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento - Agrícola), em 2010, o Nordeste brasileiro destacou-se como região produtora, contribuindo com 2% do total plantado no país, destacando-se apenas os estados do Rio Grande do Norte e Ceará. A introdução do girassol, em áreas desmatadas e degradadas do semiárido, para produção do biodiesel representa um grande ganho ambiental para esta região. Devido principalmente, o girassol apresentar boa tolerância à seca e ao calor, podendo tornar-se importante alternativa para o semiárido brasileiro. No Brasil seu cultivo tem se intensificado como matéria prima para a produção de biocombustíveis e é impulsionado pela criação do Programa Nacional de Biodiesel que traz como metas a inserção da agricultura familiar na produção de agroenergia (SILVA et al., 2008).

2.4 As características do Nordeste brasileiro: seca e salinidade

Na região Nordeste do Brasil, onde a viabilidade de diversificação de cultivo agrícola é escassa, o mercado emergente de biodiesel, pode auxiliar no desenvolvimento do setor agrícola local. Esta região do país possui imensa diversidade de plantas oleaginosas que na sua maioria ainda precisam ser estudadas, exploradas e, em alguns casos preservadas. Muitas dessas espécies são de grande importância para o homem,

não só para a produção de alimentos, mas também, dentre outros usos importantes, na produção de biodiesel (BELTRÃO & OLIVEIRA, 2007). No entanto, cerca de 1.500.000 km² dos 1.600.000 km² que o Nordeste brasileiro ocupa no território nacional são caracterizados como insuficientes em água, estando inseridos no Polígono das secas, uma região semiárida de 940 mil km² que ocupa 62% desse território (DANTAS et al., 2002; MELO, 2012).

O semiárido corresponde a quase 70% da região Nordeste (BRAGA, 2004), ocupando 88,6% do território do Rio Grande do Norte. Este clima caracteriza-se pelas frequentes secas que podem acontecer pela ausência, escassez, pouca frequência e/ou má distribuição das chuvas durante o período do inverno, não sendo rara a sucessão de anos seguidos de seca (PARAHYBA et al., 2009).

Aliado à deficiência hídrica, a ocorrência de solos salinos, salino-sódicos e sódicos são comuns nessas áreas em que predominam regiões áridas e semiáridas com má drenagem. O processo de salinização ainda é acelerado pelo uso da irrigação com água contendo altas concentrações de sais (OLIVEIRA et al., 2002; MELO, 2012), que combinado à baixa precipitação pluvial e à alta taxa de evaporação, permitem que os sais não sejam lixiviados, podendo ser acumulados em quantidades prejudiciais ao crescimento normal das plantas (RUIZ et al., 2006).

Assim, o excesso de sais solúveis em regiões áridas e/ou semiáridas está relacionado, a baixa precipitação pluvial, a presença de camadas impermeáveis, a elevada evapotranspiração e a ações antrópicas. Tais fatores contribuem para o aumento da concentração de sais solúveis na solução do solo (salinidade) e/ou o aumento da percentagem de sódio trocável (sodicidade), interferindo no desenvolvimento normal da planta (RIBEIRO, 2009).

2.4.1 Efeitos da salinidade no desenvolvimento das plantas

Os solos afetados por sais, também conhecidos por solos halomórficos ou solos salinos ou sódicos, são solos desenvolvidos em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície (RIBEIRO, 2009).

As plantas retiram a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças com que a água é retida no solo. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito osmótico e,

portanto, a magnitude do problema de escassez de água na planta (MENDES et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009). O aumento da pressão osmótica causada pelo excesso de sais solúveis poderá atingir um nível em que as plantas não terão forças de sucção suficiente para superar a pressão osmótica e, em consequência, a planta não irá absorver água, mesmo de um solo aparentemente úmido (DIAS & BLANCO, 2010).

Dependendo do grau de salinidade, a planta, em vez de absorver, poderá até perder a água que se encontra em seu interior. O fenômeno é devido ao movimento da água, que passa das células para a solução mais concentrada (ALVES et al., 2011). Entretanto, o grau de severidade dos componentes osmóticos e iônicos depende de fatores intrínsecos à planta (genótipo e estágio de desenvolvimento), fatores relacionados com os estresses (tipo de salinidade, intensidade, duração e forma de aplicação do estresse), fatores ambientais (luz, temperatura, umidade relativa do ar e sistema de cultivo), bem como da interação entre eles (EPSTEIN & BLOOM, 2006; SOUSA et al., 2011).

Dentre os inúmeros efeitos resultantes dessa salinização, tem-se o estresse salino, que possui um componente iônico, gerado pela absorção e acumulação de íons como Na^+ e Cl^- nos diferentes órgãos da planta (MUNNS et al., 1995) e osmótico, causado por uma diminuição no potencial hídrico do solo (NAVARRO, 2007). O excesso de Na^+ e principalmente o excesso de Cl^- no protoplasma, ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico, bem como o efeito específico dos íons sobre as enzimas e membranas (LÄUCHLI & GRATTAN, 2007). Para Koyro (2006), o estresse osmótico gerado pela seca e salinidade representam os mais comuns estresses ambientais, que limitam o crescimento vegetal e a produtividade das culturas.

No caso do estresse salino, além do efeito osmótico, existe o efeito iônico, que se dá através da toxicidade da planta pela absorção de íons específicos e, como efeito secundário, pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, causando um desbalanceamento nutritivo (MUNNS & TESTER, 2008; DIAS & BLANCO, 2010). Durante o efeito da salinidade, determinados processos são danificados, tais como síntese de proteínas, metabolismo de lipídios e fotossíntese. Uma das respostas iniciais é a redução da expansão da superfície foliar (PARIDA & DAS, 2005).

Paralelamente a estas condições adversas, as plantas possuem mecanismos de defesa que possibilitam amenizar os danos provocados por estes fatores de estresse, podendo promover um maior grau de tolerância aos mesmos (CHEN & MURATA, 2002). Dentre esses mecanismos, podem-se citar mudanças no ciclo e divisão celulares,

mudanças no sistema de endomembranas e vacuolização, bem como alterações na arquitetura da parede celular, promoção de senescência foliar e ajustamento osmótico (TAIZ & ZEIGER, 2010).

2.4.2 Mecanismos de resistência – Ajustamento Osmótico

A resistência à salinidade é descrita como a habilidade das plantas de evitar, por meio de uma regulação salina, que excessivas quantidades de sal provenientes do substrato alcancem o protoplasma, e também, de tolerar os efeitos tóxicos e osmóticos associados ao aumento da concentração de sais (LARCHER, 2000).

Para suportar o estresse salino, as plantas têm desenvolvido mecanismos complexos, que contribuem para a adaptação aos estresses osmótico e iônico, provocados pela alta salinidade (MELONI et al., 2004; FARIAS et al., 2009). Esses mecanismos incluem o ajustamento osmótico, ou osmorregulação, que consiste na síntese de solutos orgânicos, na mobilização e na acumulação destes e dos solutos inorgânicos entre os tecidos da planta, fazendo com que haja um aumento na concentração de solutos na célula (SILVEIRA et al., 2010). É usualmente acompanhado pela absorção de íons inorgânicos, bem como pela acumulação de solutos orgânicos compatíveis (osmoprotetores) (STRANGE, 2004). Os íons inorgânicos são sequestrados no vacúolo, enquanto os solutos orgânicos são compartimentalizados no citoplasma, para balancear o baixo potencial osmótico nos vacúolos (TAIZ & ZEIGER, 2004). Desta forma, esse mecanismo permite a redução no potencial osmótico e aumento no potencial de turgescência da célula, facilitando a absorção de água e a manutenção do crescimento celular (SILVEIRA et al., 2010).

O acúmulo de compostos inorgânicos (Na^+ , K^+ e Cl^-) é bem evidenciado em condições de estresse salino; embora esses elementos tenham papel importante no crescimento de plantas superiores nessas condições, suas contribuições relativas variam entre as espécies, entre as cultivares de uma mesma espécie, entre órgãos e tecidos de uma mesma planta e até entre diferentes compartimentos de uma célula (ASHRAF & HARRIS, 2004). Silveira et al. (2010) observaram que os íons Na^+ e Cl^- são os solutos mais importantes no ajustamento osmótico de folhas e raízes de *Atriplex nummularia*, e que K^+ tem sua contribuição diminuída intensamente pela salinidade. Entre os compostos orgânicos, os nitrogenados – aminoácidos, inclusive a prolina e compostos

quaternários de amônio, entre eles a glicina betaína – e os poli-hidroxicos (carboidratos e poliálcoois) são os solutos mais comumente acumulados em plantas em condições de estresse (ASHRAF & HARRIS, 2004). O acúmulo de aminoácidos e de carboidratos solúveis tem sido estudado intensamente em plantas em condições de estresse salino (AZEVEDO NETO et al., 2004; FARIAS, 2009), pois são os solutos orgânicos de maior contribuição para o potencial osmótico.

A salinidade também interfere nas concentrações de potássio encontradas nas plantas, um componente essencial para o ajustamento osmótico celular, principalmente para o fenômeno de abertura e fechamento estomático (MAATHUIS & AMTMANN, 1999). De acordo com Ashraf e Foolad, 2007, durante o estresse salino ocorre um decréscimo na absorção K^+ e um aumento no influxo de sódio (Na^+). Como o Na^+ é tóxico e o K^+ é o soluto que mais contribui para a manutenção da pressão osmótica e da força iônica, as plantas estressadas por NaCl ativam transportadores de cátions no tonoplasto e na membrana celular para manter a homeostase.

2.4.3 O papel do potássio no desenvolvimento de plantas

O ajustamento osmótico é uma importante característica que está associada com a manutenção de um elevado potencial celular, turgescência e retenção de água em resposta ao estresse. O potássio desempenha um papel fundamental na capacidade do ajustamento osmótico, mesmo sob condições estressantes (MARSCHNER, 2012). Além disso, concentrações suficientes de K induz a acumulação de solutos compatíveis, diminuindo assim o potencial osmótico e ajudando a manter o turgor celular sob condições de estresse. Em resumo, um estado de nutrição potássica adequada, pode facilitar o ajustamento osmótico, que mantém maior pressão de turgescência, o conteúdo relativo de água e menor potencial osmótico, melhorando assim a capacidade plantas para tolerar tanto o estresse hídrico, quanto o salino (PRADO et al., 2006).

O K desempenha um papel crucial na regulação da turgescência dentro das células guarda durante o movimento estomático. Uma das principais funções dos estômatos é controlar a perda de água pelas plantas através da transpiração. Durante o estresse, o rápido fechamento dos estômatos e preservação da umidade interna é essencial para a adaptação da planta as condições de estresse (MARSCHNER, 2012). Alguns estudos também afirmam que a deficiência de K podem induzir o fechamento dos estômatos e inibir taxas fotossintéticas em várias plantas cultivadas (TOMEMORI,

2002; JIN et al., 2011). Por outro lado, diversos estudos sugerem que o K não tem efeito sobre a condutância estomática e taxas fotossintéticas em condições bem regadas, mas a deficiência deste nutriente poderia favorecer a abertura dos estômatos e promover a transpiração, em comparação plantas com suficiência em K sob estresse hídrico (PERVEZ et al., 2004; BENLLOCH-GONZALEZ et al., 2010). Além disso, a taxa fotossintética é reduzida em estresse hídrico em plantas com deficiência de K (EGILLA, 2005; PERVEZ et al., 2004; TSONEV et al., 2011). Esta diferença pode estar relacionada com as espécies de plantas, sistema experimental e os fatores ambientais no campo experimental ou diferenças interespecíficas.

A deficiência de potássio normalmente pode ser observada sob o estresse salino. Altos níveis de Na^+ inibem a atividade do K^+ na solução do solo, resultando em uma redução da disponibilidade do nutriente. O Na^+ , não só interfere na translocação do K^+ nas raízes (BOTELLA et al., 1997), mas também compete com K^+ para locais de absorção na membrana plasmática, resultando em menor absorção de K^+ . Assim, o estresse salino provoca a desintegridade da membrana plasmática e favorece o vazamento de K^+ , resultando em um rápido declínio nas concentrações de K^+ no citosol (COSKUN et al, 2010).

Conforme Mian et al. (2011), um aumento da oferta de K promove um maior acúmulo de K^+ nos tecidos da planta, reduzindo a concentração de Na^+ , e resultando em uma maior proporção de K^+/Na^+ . As vias específicas de transporte de Na^+ e K^+ desempenham um papel fundamental nos mecanismos de tolerância nas plantas (PLATTEN et al., 2006). Essas vias que intermediam o transporte específico representam um mecanismo primário na regulação de Na^+ e K^+ , bem como a exclusão do Na^+ (BYRT et al., 2007; HORIE et al., 2009).

A capacidade das plantas para satisfazer as suas necessidades metabólicas de K na presença de salinidade usando fluxos maiores de K^+ e inferiores de Na^+ , os quais resultam em uma maior relação K^+/Na^+ , é essencial para tolerância ao sal. À adição de K, a solução salina de uma cultura foi determinada para aumentar as concentrações de K^+ nos tecidos da planta, que corresponde a uma diminuição no teor de Na^+ . Estudos mostram que não é a quantidade absoluta de Na^+ que influencia na resistência ao sal, mas sim a relação K^+/Na^+ que determina a tolerância ao sal do vegetal (SHABALA & POTTOSIN, 2010). Assim, os níveis adequados de K melhora a resistência da planta, as relações hídricas, e crescimento das plantas sob condições salinas (EGILLA et al., 2005).

Diversos trabalhos com girassol relatam a adição de K^+ em plantas sob estresse salino, Delgado & Sánchez-Raya 1999, avaliando a resposta fisiológica de mudas de girassol quanto à salinidade e o fornecimento de potássio, utilizando K_2SO_4 em solução nutritiva, Akram et al., 2007, avaliando o crescimento e rendimento de girassol através da aplicação foliar de KOH sob condições de estresse salino, Abbadi et al., 2008, avaliando o crescimento e rendimento de girassol com aplicação de K_2SO_4 , Akram & Ashraf 2009, estudando a eficácia da aplicação foliar de K_2SO_4 na mitigação dos efeitos adversos causados pelo sal em diferentes atributos físico-bioquímicos em girassol, Soleimanzadeh et al., 2010, avaliando os efeitos dos níveis de potássio na forma de KNO_3 , em enzimas antioxidantes sob estresse hídrico e salino em girassol, Jabeen & Ahmad 2011. Maior parte dos resultados obtidos comprovam os efeitos benéficos do fornecimento de K^+ em plantas de girassol submetidas ao estresse salino, minimizando os efeitos deletérios da salinidade, através de indicadores de crescimento e produtividade, maior concentração de nutrientes, aumento de taxa fotossintética e manutenção do turgor celular, garantindo uma maior eficiência do uso da água pela planta.

Assim, dada a importância do girassol e do estresse salino na produção vegetal, as plantas utilizam o ajustamento osmótico como estratégia para minimizar os efeitos deletérios do sal e o K^+ tem papel fundamental neste mecanismo, o presente trabalho propõe avaliar o desempenho de duas cultivares de girassol, através de uma análise de indicadores de crescimento, indicadores de status hídrico, estresse iônico e ajustamento osmótico, quanto à resposta ao incremento de K^+ em solução nutritiva, sob condição de estresse salino.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de plantas de girassol submetidas ao estresse salino quanto à resposta ao fornecimento de potássio em solução hidropônica, visando uma maior compreensão dos efeitos da salinidade e do K^+ sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, através de indicadores fisiológicos e bioquímicos.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho de duas cultivares de girassol (Catissol 01 e Hélio 253) quanto a resposta aos tratamentos contendo NaCl e K⁺, em solução hidropônica;
- Avaliar os indicadores de crescimento (taxa de crescimento absoluta, taxa de crescimento relativa, relação da área foliar, relação do peso foliar, relação do peso radicular e relação da parte aérea com o sistema radicular);
- Avaliar os indicadores de status hídrico (conteúdo relativo de água, percentual de umidade e vazamento de eletrólitos);
- Determinar o teor de solutos inorgânicos (Na⁺ e K⁺) e solutos orgânicos (aminoácidos livres totais, açúcares solúveis totais, prolina e proteínas solúveis totais).

4. HIPÓTESES

- O estresse salino induzido pela presença de NaCl em solução nutritiva, altera o crescimento e desenvolvimento de plantas de girassol.
- O fornecimento de potássio à solução nutritiva contendo NaCl, minimiza o efeito do estresse salino,

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Laboratório de Biotecnologia Vegetal, localizado no Departamento de Biologia Celular e Genética, no Centro de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, na cidade de Natal.

A cidade de Natal está situada a 5°47' de latitude ao sul e 35°12' de longitude a oeste de Greenwich, numa altitude de 30,9 m.

5.2 Material vegetal e obtenção das plântulas de girassol

Neste trabalho foram utilizadas duas cultivares de girassol (Catissol 01 e Hélio 253). As sementes das cultivares foram fornecidas pela Empresa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN.

As sementes de girassol foram selecionadas e em seguida desinfestadas com hipoclorito de sódio 0,5% (v/v), durante aproximadamente 3 minutos, seguidas de três lavagens com água destilada e autoclavada, sendo de um minuto cada lavagem. Após a desinfestação, as sementes foram colocadas para germinar em sistema de rolo de papel toalha do tipo Germitest, descrito por Vieira e Carvalho (1994), com umidade de água correspondente a 2,5x a massa dos papéis secos. As sementes foram dispostas em duas camadas de papel toalha umedecidas com água, organizadas em duas fileiras contendo 10 sementes cada, e cobertas por uma terceira folha. Os rolos foram agrupados em três, formando um cartucho. Em seguida, cada cartucho foi coberto com sacos plásticos transparentes, lacrados com ligas de borracha e mantidos em sala de crescimento com temperatura média de 25° C no escuro durante sete dias.

5.3 Cultivo hidropônico

Plântulas de sete dias de idade e com aproximadamente 15 cm foram fixadas em placas de isopor e colocadas dentro de frascos plásticos individuais flutuando sobre 850 mL de solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com ¼ de força e pH ajustado para 6,0. Diariamente, o volume dos frascos era completado com solução nutritiva para compensar a perda de volume das soluções por evapotranspiração. Os frascos contendo as plântulas foram mantidas durante vinte e dois dias em casa de vegetação sob temperatura de 30±5°C e umidade relativa do ar de 40±10%. A cada sete dias a solução hidropônica era renovada e bombas de aeração de aquarofilia foram utilizadas para manter a oxigenação das plantas (Figura 1).



Figura 1. Plantas de girassol cultivadas em frascos plásticos contendo solução hidropônica aerada.

Após vinte e dois dias de aclimação, plantas de girassol das duas cultivares medindo aproximadamente 30 cm, foram selecionadas e utilizadas neste experimento. Para a avaliação dos indicadores de crescimento, onze plantas foram coletadas no tempo inicial (T0). A altura da planta, diâmetro do caule e área foliar foram aferidos, em seguida as partes (folha, caule e raiz) foram separadas e pesadas, determinando a massa fresca inicial. Em seguida, colocadas na estufa a 60°C por um período de 96 horas, para determinação da massa seca inicial.

Logo após a primeira coleta, as plantas foram submetidas aos tratamentos, que foram distribuídos em soluções nutritivas Hoagland e Arnon (1950) com modificações (Tabela 3).

Tabela 3. Tratamentos aplicados em plantas de girassol.

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO
C (Controle)	Solução nutritiva
Sal (100mM de NaCl)	Solução nutritiva + 100mM de NaCl
S + K (Sal + Potássio)	Solução nutritiva + 100mM de NaCl + 4 mM de K como K ₂ HPO ₄

Ao final de dez dias de cultivo nos diferentes tratamentos (C, Sal e Sal + K), mais onze plantas foram coletadas no tempo final (T 1) e registrados a altura da planta, diâmetro do caule e área foliar, em seguida as partes (folha, caule e raiz) foram separadas e pesadas, obtendo-se a massa fresca final da planta. E logo após, levadas para a estufa a 60°C por um período de 96 horas, para determinação da massa seca final, para as análises de crescimento.

Para a avaliação dos indicadores de status hídrico, determinado pelo conteúdo relativo de água (CRA), percentual de umidade (%) e dano de membrana (DM) e a análise dos indicadores de ajustamento osmótico, representados pelas quantificações dos solutos inorgânicos (K^+ e Na^+) e orgânicos, através das proteínas solúveis totais (PST), aminoácidos livres totais (AALT), prolina (PRO), açúcares solúveis totais (AST), foram utilizadas quarenta plantas, as quais foram separadas em partes aérea e radicular para as respectivas análises.

5.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 2x3, 2 (duas) cultivares de girassol (Catissol 01 e Hélio 253) e 3 (três) tratamentos (Controle; C + K; Sal e S + K), com onze repetições.

5.5 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE CRESCIMENTO

Para a avaliação dos indicadores de crescimento, utilizaram-se fórmulas matemáticas conforme recomendadas e adaptadas por Benincasa (2003).

5.5.1 Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A TCA foi calculada através da fórmula $TCA = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$; onde W_2 e W_1 são as massas secas totais da planta aferidos ao final de 10 dias (T_1) e no início do experimento (T_0), respectivamente, e T_2 e T_1 os tempos final e inicial em dias em que as plantas foram medidas, respectivamente.

5.5.2 Taxa de crescimento relativo (TCR)

A TCR foi estimada com base na seguinte fórmula: $TCR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$; onde W_2 e W_1 são as massas secas totais da planta aferidos ao final de 10 dias (T_1) e no início do experimento (T_0), respectivamente, e T_2 e T_1 os tempos final e inicial em dias em que as plantas foram medidas, respectivamente.

5.5.3 Área foliar (A)

Para a determinação da área foliar, as folhas foram dispostas em uma superfície contrastante de coloração branca juntamente com uma referência de escala de 1cm e scaneadas. Para a medida direta da área foliar as imagens digitais foram manuseadas utilizando o Software ImageJ® (Powerful Image Analysis) de domínio público. Este software captura a imagem de todos os folíolos de uma folha completa e através de procedimentos de contraste de cores calcula a área total real da folha.

5.5.4 Relação da área foliar (RAF)

A RAF foi obtida através da fórmula $RAF = (A_2 - A_1)(\ln W_2 - \ln W_1) / (W_2 - W_1)(\ln A_2 - \ln A_1)$; onde A_2 e A_1 são as áreas foliar final e inicial da planta, respectivamente, W_2 e W_1 são as massas seca final e inicial das plantas, respectivamente. E $\ln W_2$, $\ln W_1$ e $\ln A_2$ e $\ln A_1$ são os logaritmos neperianos das massas e áreas finais e iniciais das plantas, respectivamente.

5.5.5 Relação do peso foliar (RPF)

A RPF é calculada através da razão entre a massa seca das folhas (MS_f) e a massa seca total da planta (W) = $RPF: MS_f / W$.

5.5.6 Relação do peso radicular (RPR)

É a relação entre a massa seca da raiz (MS_r) e a massa seca total da planta (W) = $RPR: MS_r / W$.

5.5.7 Relação parte aérea / sistema radicular (RPASR)

A RPASR é obtida através da relação MS_f / MS_r ; onde MS_f é a massa seca das folhas e MS_r é a massa seca da raiz.

5.6 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE STATUS HÍDRICO

5.6.1 Conteúdo relativo de água (CRA) e percentual de umidade (U%)

O CRA e o percentual de Umidade foram determinados segundo Irigoyen et al. (1992) e Slavick (1974) com pequenas modificações. O material fresco coletado foi pesado, definindo os valores de massa fresca (MF), e colocado em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 50 mL de água destilada a temperatura ambiente. Após 24 horas, o mesmo material foi secado superficialmente e pesado, aferindo suas massas para obtenção da massa túrgida (MT). Em seguida, o material foi transferido para sacos de papel madeira e levado para estufa a 60 °C durante 72 horas, havendo novamente a pesagem após este período e a consequente obtenção dos valores de massa seca (MS). O cálculo do CRA foi feito com base na expressão matemática de Irigoyen et al. (1992): $CRA (\%) = (MF - MS / MT - MS) \times 100$; e o percentual de umidade determinado segundo Slavick (1974), utilizando a seguinte relação: $\%U = [(MF - MS) / MF] \times 100$.

5.6.2 Danos de membrana (DM)

O grau de dano de membrana (DM) foi medido indiretamente pelo vazamento de eletrólitos conforme Blum e Ebercon (1981), com pequenas modificações. As partes aéreas e radiculares foram transferidas e mergulhadas em frascos hermeticamente fechados contendo 50 mL de água destilada. Os frascos foram deixados em repouso por aproximadamente 24 horas. Após esse período, com o auxílio de um condutivímetro, realizou-se a primeira leitura da condutividade elétrica (CE) da solução do frasco (L1). Os frascos foram novamente fechados e aquecidos em banho-maria a 100 °C, por 1 hora. Após resfriamento do frasco à temperatura ambiente, foi realizada a segunda leitura da condutividade elétrica da solução (L2). Ao fim, através da expressão $DM (\%) = (L1 / L2) \times 100$, foi possível calcular o percentual de dano à membrana.

5.7 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE AJUSTAMENTO OSMÓTICO

5.7.1 Extração das amostras para quantificação de proteínas solúveis totais (PST)

Foram distribuídas 1g da massa fresca de partes aéreas e radiculares das plantas, após 10 dias de estresse. Primeiramente, o material selecionado foi macerado em nitrogênio líquido com o auxílio de gral e pistilo. Em seguida, foram adicionados 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM, pH 7,0 + EDTA 1 mM. O extrato foi então colocado em *ependorfs* e centrifugado a 2000 rpm por 10 minutos em centrífuga refrigerada. Por fim, o precipitado foi descartado e o sobrenadante foi armazenado em *freezer* a -80 °C.

5.7.2 Extração das amostras para quantificação dos solutos orgânicos (aminoácidos livres totais (AALT), prolina (PRO))

As amostras foram obtidas a partir da massa seca de partes aéreas e radiculares das plantas coletadas após 10 dias de estresse. Foram colocados 50 mg de massa seca em tubos contendo 5 mL de água destilada. Os tubos foram hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 100 °C por 1 hora. A solução líquida restante no frasco foi filtrada e armazenada a -20°C em *freezer* .

5.7.3 Extração das amostras para quantificação de açúcares solúveis totais (AST)

As amostras foram obtidas a partir da massa seca de partes aéreas e radiculares das plantas. Onde foram distribuídas 50 mg da massa seca para 5 mL de água destilada, em tubos hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 100 °C por 1 hora. A solução líquida restante no frasco foi filtrada e armazenada a -20°C em *freezer* para posterior dosagem de osmorreguladores.

5.7.4 Determinação dos solutos inorgânicos (Na⁺ e K⁺)

Para determinar a contribuição relativa de solutos inorgânicos no ajustamento osmótico das plantas, a concentração de sódio e potássio foi determinada por fotometria de chama. Para tanto, 25 mg de massa seca do tecido vegetal das folhas e raízes foi

diluído em 5 mL de água destilada em banho-maria a 100 °C por 1 h. O extrato obtido foi centrifugado e o sobrenadante foi analisado em fotômetro de chama para determinação dos conteúdos de Na⁺ e K⁺.

5.7.5 Determinação de proteínas solúveis totais (PST)

A concentração de PST foi determinada segundo a metodologia de Bradford (1976). Alíquotas das amostras de raízes e das folhas foram colocadas em tubos de ensaio de vidro, acrescidos do reagente de Bradford. A proporção de volume para a quantificação nas raízes foi de 100 µL da amostra + 2,5 mL do reagente. Em seguida a solução foi agitada manualmente e delicadamente para evitar a desnaturação de proteínas e realizou-se leitura em espectrofotômetro a 595 nm de absorbância. Para as folhas, houve diluição de 4 vezes dos volumes utilizados para raiz, dependendo da necessidade. Neste caso, os valores de concentração foram reajustados matematicamente.

As concentrações de PST foram determinadas com base em uma curva padrão obtidas a partir de albumina bovina (BSA) e os resultados foram expressos em mG g⁻¹ de massa seca.

5.7.6 Determinação de aminoácidos livres totais (AALT)

A concentração de AALT foi determinada segundo o método descrito por Peoples et al. (1989) com algumas modificações. Alíquotas de 100 µL do extrato foram colocadas em tubos de ensaio acrescidas de 400 µL de água destilada. Em seguida foram adicionados 250 µL de solução de Tampão Citrato a 200 mM (pH = 5,0) e 250 µL de reagente de ninhidrina (0,1 mmol L⁻¹ de KCN e 5% de ninhidrina em methoxy etanol). Os tubos foram hermeticamente fechados, agitados em vórtex e levados ao banho-maria a 100°C por 15 minutos. Logo após, a reação da solução foi interrompida imediatamente com banho de gelo. Por fim, foram adicionados à solução 1,5 mL de Etanol a 50% (v/v). Após nova agitação em vórtex, os tubos permaneceram por 20 minutos em temperatura ambiente para posterior leitura em espectrofotômetro a 570 nm de absorbância.

As concentrações de aminoácidos livres totais foram determinadas com base em curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de uma mistura padronizada de L-Glutamina. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol AALT g}^{-1}$ de massa seca.

5.7.7 Determinação de prolina (PRO)

A concentração de Prolina foi determinada segundo metodologia descrita por Bates (1973). Em tubos de ensaio foram colocadas alíquotas de 1 mL do extrato obtido e adicionado 1 mL do reagente de ninhidrina ácida (1 g de ninhidrina + 24 mL de ácido acético glacial 98% + 16 mL ácido fosfórico 6 M), mais 1 mL de ácido acético glacial (98%). Após homogeneização os tubos foram hermeticamente fechados, agitados em vórtex e levados ao banho-maria por 1 hora a 100°C. Logo após, a reação foi interrompida imediatamente com banho de gelo. Em seguida, foram adicionados à solução 2 mL de Tolueno (97%) e os tubos foram agitados em vórtex por 20 segundos. Após estabilização, duas fases foram formadas, sendo a fase aquosa superior formada pelo Tolueno + Cromóforo de coloração avermelhada. Esta foi recuperada e submetida à leitura em espectrofotômetro a 520 nm de absorvância.

As concentrações de Prolina foram determinadas com base em uma curva padrão obtida a partir de L-Prolina com seus resultados expressos em $\mu\text{mol PRO g}^{-1}$ de massa seca.

5.7.8 Determinação de açúcares solúveis totais (AST)

A concentração de AST foi realizada pelo método de “fenol-sulfúrico” descrito por Dubois et al. (1956). Alíquotas de 100 μL da amostra foram adicionadas a tubos de ensaio, completados com 400 μL de água destilada, acrescido de 500 μL de Fenol a 5% e agitados em vórtex. Para iniciar a reação, foi adicionado de uma única vez e no centro do tubo, 2500 μL de H_2SO_4 concentrado. Logo após, os tubos foram agitados em vórtex, para usar o calor da reação para uma melhor homogeneização. Posteriormente os tubos permaneceram por 20 minutos em temperatura ambiente para leitura em espectrofotômetro a 490nm de absorvância.

As concentrações de Açúcares Solúveis Totais foram determinadas com base na curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de uma solução estoque de D-Glicose, com seus resultados expressos em $\mu\text{mol de GLI g}^{-1}$ de massa seca.

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância e o teste t, que comparou os efeitos dos contrastes ortogonais. Em todas as análises foi utilizado o nível nominal $\alpha = 0,05$ de probabilidade, utilizando o Sistema para Análise de Variância – SISVAR versão 4.2 (FERREIRA, 2011).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Indicadores de Crescimento

Os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito dos sais, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para avaliação do grau de estresse, bem como a capacidade da planta em tolerar o estresse salino (LARCHER, 2000; ESTEVES & SUZUKI, 2008).

O estresse salino simulado pelo NaCl afetou tanto a taxa de crescimento absoluta (TCA), estimada com base na massa seca total da planta por unidade de tempo, como a taxa de crescimento relativa (TCR), estimada em porcentagem e com base na massa seca total da planta antes e após o estresse. Quando submetidas a salinidade, observou-se uma redução em torno de 37 e 27% na TCA de Catissol 01 (Tabela 4) e Hélio 253 (Tabela 5), respectivamente, em relação controle. Já na TCR, as duas cultivares apresentaram redução em torno de 27% quando submetidas a salinidade, em relação ao controle.

Com relação à adição de K^+ à solução salina (S + K), observou-se efeito significativo apenas em Hélio 253 (Tabela 5). Observando-se um aumento aproximado de 30% na TCA, quando comparado com o tratamento salino (Sal). Não houve efeito sobre a TCR.

Resultados semelhantes foram obtidos por Dickmann et al. (2005) em sementes de três variedades de girassol, avaliando o crescimento em relação ao potencial osmótico da solução e dois tipos de sais (NaCl e $CaCl_2$) e concluíram que o aumento do potencial osmótico das soluções salinas reduz o crescimento das plantas.

Assim, verificam-se claramente os efeitos deletérios da salinidade sob o crescimento das plantas de girassol. Tais efeitos podem ser devido ao componente

osmótico e/ou componente iônico do estresse salino. A redução na disponibilidade de água para as plantas e/ou a acumulação de íons no protoplasma reduz a turgescência celular e conseqüentemente o crescimento, devido uma diminuição nas divisões e alongamento celular (XIONG & ZHU, 2001; MACÊDO, 2005). A inibição do crescimento em girassol observada com a redução nas taxas de TCA e TCR pode ser também em consequência do desvio de energia metabólica destinada ao crescimento para a sua manutenção. Isto é, a redução na biomassa seca pode refletir o custo metabólico de energia associado à adaptação à salinidade, incluindo-se a regulação do transporte e distribuição iônica em vários órgãos e dentro das células, a síntese de solutos compatíveis para a osmorregulação e/ou proteção de macromoléculas e a manutenção da integridade das membranas (POVH, 2004).

Uma quantidade suficiente de potássio é essencial para a sobrevivência das plantas em ambiente normal ou salino. O crescimento da planta, e fenômenos fisiológicos, tais como a regulação estomática, fotossíntese, regulação osmótica, a síntese de proteínas e transporte de solutos no xilema dependem da disponibilidade de potássio para as plantas (ASHRAF & HARRIS, 2004; ASHRAF & FOOLAD, 2007; MUNNS, 2008).

No presente estudo, o incremento de K^+ a solução salina (S + K) promoveu efeitos positivos apenas em Hélio 253, expressos pelo acréscimo observado na TCA, em relação ao tratamento salino (Sal), minimizando os efeitos causados pelo NaCl. Tal fato se deve provavelmente a diferenças genótípicas. Trabalhos com várias culturas, entre elas o girassol, mostraram que variedades distintas respondem de forma diferentes aos tratamentos com K^+ (ASHRAF & FOOLAD, 2007), reforçando, portanto, que a resposta aos tratamentos é cultivar dependente, concluindo que a tolerância das culturas varia tanto entre espécies como entre cultivares de uma mesma espécie (DANTAS et al., 2010; SOUSA NETO et al., 2011).

Ashraf e Akram (2009) observaram que o fornecimento de K^+ na forma de KNO_3 em girassol, promoveu o aumento da taxa fotossintética, e que este aumento foi proporcional ao aumento nas taxas de crescimento e produtividade em plantas submetidas ao estresse salino. Em outras culturas, como, morango (KAYA et al., 2002), espinafre (KAYA et al., 2001b), pepino e pimenta (KAYA et al., 2001a), arroz (IKEDA et al., 2004) e melão (KAYA et al., 2007), a aplicação de K^+ minimizou os efeitos deletérios do sal no crescimento das plantas, em condições de estresse salino.

A relação da área foliar (RAF), estimada com base na relação área foliar e a massa seca total da planta, permite inferir sobre a translocação e partição de assimilados para as folhas em relação à matéria seca total da planta. A RAF de ambas as cultivares foi afetada significativamente pela salinidade. Observou-se uma redução na RAF em torno de 80% em Catissol 01 (Tabela 4), e 65% em Hélio 253 (Tabela 5), em relação ao controle. A adição de K^+ ao tratamento salino (S + K) não provocou efeitos significativos em nenhuma das cultivares, mas observou-se uma tendência de aumento em Hélio 253.

O decréscimo da área foliar observado tanto em Catissol 01 como em Hélio 253, pode estar relacionado, possivelmente, a um dos mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino, o qual reduz a superfície transpirante e, conseqüentemente, reduz a perda de água por transpiração, ou ainda pode indicar que a quantidade de assimilados destinados às folhas é diminuída, em função do desenvolvimento das estruturas de sustentação e reprodutivas em detrimento do investimento em área foliar (TESTER & DAVENPORT, 2003; FONTES et al., 2005). A diminuição da RAF indica decréscimo na quantidade de assimilados destinados às folhas, podendo ocasionar redução na TCR, o que foi observado em ambas as cultivares neste trabalho.

Os resultados obtidos na RAF de Catissol 01 e de Hélio 253, corroboram com as afirmações de que a redução da RAF é um dos mecanismos que a planta usa sob estresse salino para manter o equilíbrio entre a absorção e transpiração – fato esse que pode aumentar a eficiência no uso da água e minimizar o acúmulo de sais na planta (POVH, 2004). Assim, a redução da área foliar pode ser considerada não só um efeito do estresse osmótico, mas também uma linha de defesa da planta.

O aumento da concentração de NaCl na solução nutritiva retém cada vez mais a água disponível à planta, de forma a reduzir sua área foliar. Esse processo resulta em menor pressão de turgor e na subsequente concentração de solutos nas células, diminuindo o volume celular das folhas (LARCHER, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2004). Resultados semelhantes foram observados em outras cultivares de girassol (SILVA et al., 2009), assim como em pinhão-manso (NERY et al., 2009) e mamoeiro (CAVALCANTI et al., 2005), onde relataram que o aumento da salinidade contribuiu para a redução da área foliar das plantas.

Com relação ao fornecimento de K^+ a solução salina (S + K), os resultados deste trabalho diferem dos resultados obtidos por Ashraf e Akram (2009) e Uchôa (2011) em girassol, onde observaram um aumento na relação de área foliar das plantas estudadas,

utilizando adubação potássica. Provavelmente, essas diferenças são devido às distintas condições experimentais, mais precisamente a dose de NaCl e K⁺ utilizada e o tempo de exposição ao mesmo em cada trabalho. De acordo com Evans e Poorter (2001), o aumento da RAF é um fator importante na maximização do ganho de carbono por unidade de massa foliar.

A relação do peso foliar (RPF), estimada com base na relação da massa seca foliar e a massa seca total da planta, a salinidade afetou apenas Hélio 253, provocando uma redução na RPF em torno de 12%, em relação ao controle (Tabela 5). Contudo, Hélio253 apresentou médias cerca de 4 vezes maiores que Catissol 01. Os tratamentos acrescidos de K⁺ não promoveram diferenças significativas, tanto em Catissol 01 como em Hélio 253.

Na relação do peso radicular (RPR), estimada na relação entre a massa seca da raiz e a massa seca total da planta, tanto Catissol 01 como Hélio 253 não foram afetadas pela salinidade. Assim como não se observou efeitos do fornecimento de K⁺ (Tabelas 5 e 6).

Na relação parte aérea com o sistema radicular (RPASR), estabelecida através da relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz, a salinidade causou efeito significativo apenas em Catissol 01 (Tabela 5). Onde observou-se uma diminuição de aproximadamente 17% na RPASR, em relação ao controle.

Levando-se em consideração que as folhas são o centro de produção de matéria seca através da fotossíntese e, que as demais partes da planta dependem da exportação desta fitomassa, a RPF (relação peso da folha) expressa a fração de massa seca não exportada (BENINCASA, 2003). Vários autores também verificaram a redução e/ou inibição do crescimento e da produção de matéria seca das folhas de diferentes culturas em consequência do aumento da salinidade do meio (LIMA et al, 2007; PINHEIRO et al., 2008).

Embora as raízes sejam os órgãos que estão diretamente em contato com o ambiente salino, seu crescimento, expresso em matéria seca, muitas vezes é menos afetado que a parte aérea, provavelmente porque na condição de déficit hídrico imposto pela presença de NaCl, as raízes tendem a crescer mais em busca de água em regiões mais profundas do solo (HSIAO & XU, 2000). Neste trabalho, verifica-se que a salinidade interferiu de forma significativa na cultivar Catissol 01, onde observou-se uma diminuição na RPASR, indicando que o efeito da salinidade foi mais evidente na parte aérea que no sistema radicular. Interessante perceber que os resultados observados

para a RPR e RPF, corroboram com tal afirmação. Na literatura, os resultados encontrados evidenciam que o efeito da salinidade apresenta característica distinta de acordo com a cultura estudada. Lima et al. (2007) trabalhando com feijão caupi, verificaram que a salinidade prejudicou mais o sistema radicular que a parte aérea. Para as culturas do amendoineiro e algodão, Correia et al. (2009) verificaram que a parte aérea foi mais afetada que as raízes pela salinidade do meio.

Segundo Asch et al. (2000), a água de irrigação ou solo contendo concentração salina elevada, ocasionada principalmente pela presença de íons Na^+ e Cl^- , interfere nos processos metabólicos da planta, alterando seu crescimento e a produção de matéria seca, além de promover redução na absorção de nutrientes.

Tabela 4. Teste de contrastes para variáveis taxa de crescimento absoluto – TCA (g dia⁻¹), taxa de crescimento relativo - TCR (%) (B), relação da área foliar - RAF (cm² g⁻¹), relação do peso foliar – RPF (g g⁻¹), relação do peso radicular – RPR e relação da parte aérea com o sistema radicular – RPASR (g g⁻¹) na cultivar Catissol 01., submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Catissol 01					
	TAC	TCR	RAF	RPF	PPR	RPASR
Cont. vs Sal	3,57**	2,72**	4,47**	0,67 ^{ns}	-1,25 ^{ns}	2,71**
Sal vs Sal + K	-0,29 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,81 ^{ns}	-0,54 ^{ns}
Tratamentos	TAC	TCR	RAF	RPF	PPR	RPASR
Cont.	0,250	0,078	61,298	0,281	0,264	1,108
Sal	0,156	0,055	12,881	0,251	0,287	0,914
Sal + K	0,149	0,060	12,654	0,229	0,254	0,953

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

Tabela 5. Teste de contrastes para variáveis taxa de crescimento absoluto – TCA (g dia-1), taxa de crescimento relativo - TCR (%) (B), relação da área foliar - RAF (cm² g-1), relação do peso foliar – RPF (g g-1), relação do peso radicular – RPR e relação da parte aérea com o sistema radicular – RPASR (g g-1) na cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Hélio 253					
	TAC	TCR	RAF	RPF	PPR	RPASR
Cont. vs Sal	2,93**	2,54*	3,19**	2,66**	0,98 ^{ns}	-1,05 ^{ns}
Sal vs Sal + K	-2,13*	-1,32 ^{ns}	-1,13 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Tratamentos	TAC	TCR	RAF	RPF	PPR	RPASR
Cont.	0,277	0,082	52,942	1,102	0,255	0,882
Sal	0,200	0,061	18,397	0,984	0,238	0,957
Sal + K	0,256	0,072	30,632	0,958	0,219	0,896

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

6.2 Indicadores de Status Hídrico

O estresse hídrico é um problema importante para a produção vegetal, pois existe um efeito inibitório na produção e acumulação de biomassa causada por uma queda significativa do potencial hídrico do meio e conseqüentemente do potencial osmótico da planta. Neste sentido, o conteúdo relativo de água (CRA) bem como a umidade (U) nas partes da planta, são considerados bons indicadores indiretos de que a planta pode estar sofrendo um estresse hídrico, portanto um efeito osmótico devido à salinidade (MAIA et al., 2007).

O estresse salino simulado pela presença de NaCl em solução nutritiva afetou significativamente o conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de ambas as cultivares, provocando uma redução de aproximadamente 8% em Catissol 01 (Tabela 6) e 6% em Hélio 253 (Tabela 7), em relação ao controle. Nas raízes, independente da cultivar, o CRA e a U não foram afetados pelo NaCl, bem como a U das folhas. A adição de K⁺ à solução salina (S + K) não causou efeitos significativos em ambas as cultivares.

O conteúdo relativo de água (CRA) e o percentual de umidade (%U) representam, respectivamente, a capacidade máxima e o percentual bruto de água possível de ser armazenado em um tecido vegetal, sendo assim considerados bons indicadores indiretos da ocorrência de déficit hídrico nas plantas (IRIGOYEN et al., 1992; SLAVICK, 1974).

Sabe-se que em condições de estresse salino o efeito osmótico da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas resulta das elevadas concentrações de sais na solução do solo, os quais reduzem seu potencial osmótico e hídrico e, conseqüentemente, a disponibilidade de água e nutrientes às plantas (ALVES et al., 2011). Desta forma, o aumento da pressão osmótica causado pelo excesso de sais solúveis, poderá atingir um nível em que as plantas não terão força de sucção suficiente para superar o potencial osmótico e, em consequência, a planta não irá absorver água, e conseqüentemente nutrientes (DIAS & BLANCO, 2010). Ainda, de acordo com os autores, dependendo do grau de salinidade, a planta em vez de absorver poderá perder a água que se encontra em seu interior, pois o seu potencial osmótico será menor do que o do solo.

Desta forma, a inibição do crescimento observada nas plantas de girassol, pode estar relacionada a um efeito osmótico nas folhas, já que o CRA foi afetado. Assim, o excesso de NaCl provavelmente causou uma redução no crescimento das plantas devido à redução do potencial osmótico da solução, provocado pelo excesso de sais, já que a concentração de NaCl na solução nutritiva retém cada vez mais a água disponível à planta, de forma a reduzir sua área foliar. Esse processo resulta em menor pressão de turgor e na subseqüente concentração de solutos nas células, diminuindo o volume celular das folhas (TAIZ & ZEIGER, 2004). Esta tem sido a maior causa da redução do crescimento de plantas (SILVA et al., 2000). Estes dados estão de acordo com Bezerra (2011), onde a presença de NaCl em solução nutritiva causou uma redução no CRA de quatro cultivares de girassol. Resultados distintos foram obtidos por Araújo et al. (2006) com erva-sal, Silva et al. (2009) com pinhão-mansão, Oliveira (2012) com faveleira, onde o sal não interferiu no status hídrico da planta.

A salinidade pode causar danos às membranas celulares e o grau de dano a estas membranas pode ser estimado indiretamente através da condutividade elétrica que mede o vazamento de eletrólitos das células para a solução (BAIJI et al., 2001).

Nas folhas, a salinidade provocou dano às membranas apenas em Catissol 01, com um aumento aproximado de 61% do vazamento de eletrólitos (VE%), em relação

ao controle. Enquanto nas raízes, o efeito da salinidade foi mais pronunciado, provocando um aumento no VE em torno de 5 e 3 vezes mais aos observados no controle, em Catissol 01 e Hélio 253, respectivamente. Com relação a adição de K^+ à solução salina (S + K), causou efeitos significativos nas membranas do sistema radicular em ambos as cultivares, provocando uma redução aproximada de 21% no VE em Catissol 01 e um aumento em torno de 33% em Hélio 253, quando comparados ao tratamento salino (Tabelas 6 e 7).

As membranas celulares são uma das primeiras estruturas afetadas pelos estresses salino e hídrico em condições típicas de ambiente semiárido. Nesse contexto, o VE em girassol submetidas ao estresse salino pode estar relacionado mais ao estresse iônico que ao estresse osmótico, pois o excesso de Na^+ e Cl^- no protoplasma causam toxicidade e ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico, provocando consequentemente alterações na estrutura das membranas (SHABALA et al., 2012). Neste trabalho, os maiores índices de vazamento de eletrólitos (VE) observados em raízes, se deu provavelmente devido a um contato direto deste órgão com a solução salina (LOPES & MACEDO, 2008).

A cultivar Catissol 01 foi a mais afetada pela salinidade, porém, nas suas raízes, teve o efeito do sal minimizado pelo incremento de K^+ à solução salina. O que concorda com resultados obtidos por Akram e Ashraf (2009) em girassol, onde o estresse salino aumentou danos às membranas celulares, mas o fornecimento de diferentes doses de K^+ reduziu a permeabilidade da membrana celular e o extravasamento de eletrólitos em plantas estressadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Kaya et al. (2001), no qual foi observado que o fornecimento de K^+ na forma de KH_2PO_4 reduziu o vazamento de íons em espinafres cultivados sob condições salinas.

Enquanto em Hélio 253 o efeito foi inverso, o incremento de K^+ a solução salina intensificou o dano às membranas, provocando um aumento no VE, possivelmente devido a um efeito tóxico nesta cultivar. Alguns estudos têm mostrado que níveis adequados de K^+ no meio externo contribuem para atenuar a absorção e os efeitos tóxicos do Na em determinadas plantas, o que pode variar de acordo com a espécie (FLOWERS, 2004; MUNNS, 2005). O que provavelmente pode estar relacionado aos mecanismos que controlam a interação entre K^+ e Na^+ , que ocorrem no transporte via membrana plasmática, envolvendo canais e transportadores de K^+ (EBERT et al., 2002; ALVES et al., 2008), observando-se mais uma vez uma resposta cultivar dependente.

Tabela 6. Teste de contrastes para os indicadores de status hídrico, através das variáveis conteúdo relativo de água – CRA (%) em folhas e raízes, percentual de umidade - %U em folhas e raízes, e vazamento de eletrólitos – VE (%) em folhas e raízes da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Catissol 01					
	CRAfolha	CRARAiz	%Ufolha	%URAiz	VEfolha	VERAiz
Cont. vs Sal	3,330**	-1,599 ^{n.s.}	-2,20 ^{n.s.}	-1,459 ^{n.s.}	-3,220**	-9,968**
Sal vs Sal + K	0,910 ^{n.s.}	-2,634 ^{n.s.}	-1,369 ^{n.s.}	-1,969 ^{n.s.}	0,849 ^{n.s.}	-2,611*

Tratamentos	Catissol 01					
	CRAfolha	CRARAiz	%Ufolha	%URAiz	VEfolha	VERAiz
Cont.	87,51	89,45	89,25	96,54	11,84	9,60
Sal	81,09	92,57	90,49	97,21	19,14	43,95
Sal + K	82,85	87,43	89,72	96,30	21,07	34,95

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

Tabela 7. Teste de contrastes para os indicadores de status hídrico, através das variáveis conteúdo relativo de água – CRA (%) em folhas e raízes, percentual de umidade - %U em folhas e raízes, e vazamento de eletrólitos – VE (%) em folhas e raízes da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Hélio 253					
	CRAfolha	CRARAiz	%Ufolha	%URAiz	VEfolha	VERAiz
Cont. vs Sal	2,818**	-1,050 ^{n.s.}	-1,748 ^{n.s.}	-2,977 ^{n.s.}	-0,451 ^{n.s.}	-6,488**
Sal vs Sal + K	-0,904 ^{n.s.}	-0,723 ^{n.s.}	1,044 ^{n.s.}	0,465 ^{n.s.}	1,294 ^{n.s.}	4,435**

Tratamentos	Hélio 253					
	CRAfolha	CRARAiz	%Ufolha	%URAiz	VEfolha	VERAiz
Cont.	89,70	91,59	88,70	95,28	8,57	8,89
Sal	84,27	93,64	89,68	96,66	9,59	31,25
Sal + K	82,53	92,23	90,27	96,87	12,53	46,54

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

6.3 Solutos inorgânicos (Na^+ e K^+)

De acordo com Fricke et al. (2006), os íons inorgânicos, dependendo da sua quantidade e localização nas células, podem favorecer o ajustamento osmótico e a redução do potencial hídrico da planta. Entretanto, tais íons podem participar também dos mecanismos de toxicidade iônica. Esse efeito resulta em concentrações excessivas de íons salinos, prejudicando processos fisiológicos e reações bioquímicas da planta (GRUWEL et al., 2001).

Neste trabalho, a salinidade provocou um acúmulo de Na^+ bem superior ao observado no controle. Tal acumulação foi superior nas folhas, de ambas as cultivares. Os maiores valores foram observados em Catissol 01 (Tabela 8), onde o NaCl provocou um aumento de 130 vezes, enquanto em Hélio 253 (Tabela 9) o aumento foi de 74 vezes no conteúdo de Na^+ em relação ao controle. Já nas raízes, esse aumento foi 10 vezes em Catissol 01 e 3 vezes em Hélio 253, em relação ao controle. Com relação ao incremento de K^+ à solução salina (S + K), observou-se uma redução no acúmulo de Na^+ nas folhas em ambas as cultivares. Tal redução foi de aproximadamente 54% em Catissol 01, enquanto em Hélio 253 foi de 7%, em relação ao tratamento salino (Sal). Curiosamente, o incremento de K^+ no tratamento S + K, causou nas raízes um maior acúmulo na concentração de Na^+ . Tal aumento foi de 15% em Catissol 01, e 140% em Hélio 253, em relação ao tratamento salino (Sal).

A salinidade afetou a acumulação de K^+ apenas em Catissol 01, provocando uma redução deste íon tanto em folhas como em raízes. Tal redução foi de 60% nas folhas e 40% em raízes, com relação ao controle. O incremento de K^+ a solução salina (S + K) afetou apenas as folhas, causando efeito contrário nas duas cultivares. Em Catissol 01, observou-se um aumento aproximado de 125%, e em Hélio 253, houve uma redução em torno de 24%, no acúmulo de K^+ em relação ao tratamento salino (Tabelas 8 e 9).

De acordo com Lima-Melo (2011), os íons inorgânicos, dependendo da sua quantidade e localização nas células, podem participar do ajustamento osmótico. Neste caso, os mesmos são sequestrados para os vacúolos, enquanto os solutos orgânicos são compartimentalizados no citoplasma, balanceando o baixo potencial osmótico vacuolar (HOPKINS, 1999). Entretanto, tais íons podem causar toxicidade iônica. Neste caso, sendo mais comum o íon Na^+ , pois ocorre a substituição de K^+ por Na^+ . Esse efeito resulta em concentrações excessivas de íons salinos, prejudicando processos fisiológicos e reações bioquímicas da planta (GRUWEL et al., 2001).

O aumento da concentração externa de NaCl ocasionou o aumento do conteúdo de Na⁺ tanto em folhas como em raízes das plantas de girassol. As elevadas concentrações de íons específicos, sobretudo Na⁺ e Cl⁻, podem provocar desequilíbrio nutricional nas plantas, sendo frequente a deficiência de íons como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrato (LÄUCHLI & EPSTEIN, 1990; FERNANDES et al., 2010). Dentre os efeitos mais estudados destaca-se a redução da concentração de K⁺ em função do incremento da salinidade, sendo reconhecido como mecanismo de tolerância de algumas plantas, a capacidade de absorção seletiva de K⁺ associada à extrusão de Na⁺.

Observa-se que o incremento de K⁺ a solução salina, reduziu a concentração de Na⁺ nas folhas de ambas as cultivares. Resultados semelhantes foram relatados na literatura, em caju (MORAIS et al., 2007), girassol (AKRAM & ASHRAF, 2009) e arroz (IKEDA et al., 2004), onde o fornecimento de K reduziu o acúmulo de Na⁺. Contudo, nas raízes ocorreu um maior acúmulo de Na⁺ tanto em Catissol 01 como em Hélio 253, sendo mais expressivo em Hélio 253. Possivelmente, devido a uma condição de tolerância desta cultivar. Plantas que apresentam mecanismos de tolerância têm a capacidade de estabelecer equilíbrio osmótico mesmo em condições de baixos potenciais de água no solo (SERTÃO 2005; EPSTEIN & BLOOM, 2006) e as raízes tendem a manter convenientemente constante os níveis de Na⁺ e Cl⁻ (TESTER & DAVENPORT, 2003).

De acordo com Silva et al. (2009), essas plantas acumulam no vacúolo das células os íons salinos absorvidos, evitando a translocação para as folhas, já que as folhas são mais vulneráveis ao Na⁺ e Cl⁻ do que as raízes, simplesmente porque acumulam maiores concentrações desses íons, afetando diretamente processos fotossintéticos, transpiratórios e metabólicos.

O efeito da salinidade sobre o acúmulo de potássio tem sido bastante relatado na literatura. Farias (2008) afirma que a redução na concentração de K⁺, em ambientes salinos, constitui-se de um complicador adicional para o desenvolvimento vegetal, uma vez que em algumas situações, o potássio é o principal nutriente responsável por diminuir o potencial osmótico entre a solução do solo e a raiz, e esta é uma estratégia fundamental à absorção de água nessas circunstâncias.

Diversos trabalhos indicam a redução no acúmulo de K⁺ nos tecidos vegetais em condições de estresse salino: goiabeira (FERREIRA et al., 2001), umbu (NEVES et al., 2004), cártamo (SADEGHI, 2011), girassol (RADY et al., 2011) e caju (ALVES et al., 2011). Fernandes et al. (2002), atribuíram o fato devido ao antagonismo entre K⁺ e Na⁺,

devido a competição entre esses íons pelos sítios de absorção no plasmalema, ou um possível aumento do efluxo de K^+ das raízes no meio de desenvolvimento, em função de distúrbios na integridade das membranas.

O incremento de K^+ a solução salina, provocou em Catissol 01, um maior acúmulo deste íon. A manutenção e/ou acúmulo de K^+ observado pode indicar efeitos benéficos no status hídrico, induzido ao menos em parte, por reduções no potencial osmótico celular. Resultados reforçando a importância do K^+ no ajustamento osmótico foram observados em videira (PATAKAS et al., 2002), caju (MORAIS et al., 2007), pinhão-manso (CUNHA, 2009).

A dinâmica da acumulação de íons de K^+ e Na^+ , em condições de salinidade, pode ser obtida mediante análise da relação K^+/Na^+ . De acordo com Maathuis e Amtmann (1999) a razão K^+/Na^+ é um indicador de toxicidade iônica, onde valores inferiores a 1 indicam um acúmulo preferencial de Na^+ no tecido em detrimento ao K^+ .

Apenas Catissol 01 apresentou diminuição desta razão (K^+/Na^+) quando submetida ao tratamento salino (Sal) em relação ao controle, indicando maior acumulação de Na^+ em detrimento de K^+ , tanto em folhas como em raízes (Tabelas 10 e 11). A razão K^+/Na^+ inferior a 1,0 observada em Catissol 01 no tratamento salino sugere uma possível toxicidade iônica e que provavelmente Hélio 253 tenha sido mais eficiente em prevenir um acúmulo excessivo de Na^+ na parte aérea, provavelmente devido a maior retenção de Na^+ nas raízes e translocação de K^+ para as folhas, garantindo a manutenção de uma relação K^+/Na^+ , compatível com os requerimentos metabólicos da planta.

Observa-se em Catissol 01, que em folhas, o incremento de K^+ a solução salina (S + K) aumentou a razão K^+/Na^+ , em relação ao tratamento com NaCl, minimizando uma possível toxicidade iônica estabelecida pelo sal. Já em Hélio 253, o incremento de K^+ a solução salina (S + K) nas raízes, provocou uma redução na razão K^+/Na^+ , indicando maior acumulação de Na^+ em detrimento de K^+ (Tabela 11).

Lacerda et al. (2003) relataram que altos níveis de Na^+ inibiu a concentração de K^+ em plantas de sorgo, resultando no aumento da relação K^+/Na^+ sob estresse salino. Mohamedin et al. (2006) relataram em girassol, que os altos níveis de Na^+ interferiram na aquisição de K^+ pelas raízes, alterando a permeabilidade e seletividade das membranas radiculares. No presente estudo, o incremento de K^+ atenuou a toxicidade de Na^+ , favorecendo uma maior acumulação deste íon em raízes de Hélio 253. Enquanto em Catissol 01, provocou efeito inverso. Os resultados obtidos estão parcialmente de

acordo com os relatos de estudos em diferentes espécies de plantas (ABDEL-REHMAN, 2002; TABATABAEI & FAKHRZAD, 2008; CHA-UM et al., 2010), que encontraram que nutrientes fornecidos foram absorvidos em maiores proporções pelas folhas.

Tabela 8. Teste de contrastes para variáveis concentração de íons sódio (Na⁺) (mmol/Kg MS) e potássio (K⁺) (mmol/Kg MS) em folhas e raízes da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Catissol 01			
	Na ⁺ Folha	Na ⁺ Raiz	K ⁺ Folha	K ⁺ Raiz
Cont. vs Sal	-30,681**	-8,953**	7,808**	5,389**
Sal vs Sal + K	-16,615**	1,606 ^{n.s.}	6,742**	1,111 ^{n.s.}
Tratamentos	Na ⁺ Folha	Na ⁺ Raiz	K ⁺ Folha	K ⁺ Raiz
Cont.	50,93	621,12	15446,38	11821,21
Sal	6645,96	6335,40	6319,51	4609,53
Sal + K	3074,53	7360,25	14200,32	6096,47

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

Tabela 9. Teste de contrastes para variáveis concentração de íons sódio (Na⁺) (mmol/Kg MS) e potássio (K⁺) (mmol/Kg MS) em folhas e raízes da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Hélio 253			
	Na ⁺ Folha	Na ⁺ Raiz	K ⁺ Folha	K ⁺ Raiz
Cont. vs Sal	-18,527**	-3,893**	0,445 ^{n.s.}	1,111 ^{n.s.}
Sal vs Sal + K	-0,722*	8,467**	-2,799**	-0,389 ^{n.s.}
Tratamentos	Na ⁺ Folha	Na ⁺ Raiz	K ⁺ Folha	K ⁺ Raiz
Cont.	54,66	1366,46	14497,71	10780,35
Sal	4037,27	3850,93	13977,28	9293,40
Sal + K	3881,99	9254,66	10706,00	8772,97

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

Tabela 10. Razões de K^+/Na^+ (mmol/Kg MS) em folhas de plantas de *Helianthus annuus* L., submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K_2HPO_4 , durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Tratamentos	-----		
	Controle	Sal	S + K
Catissol 01	323,81	0,888	4,61
Hélio 253	270,95	3,29	2,16

Tabela 11. Razões de K^+/Na^+ (mmol/Kg MS) em raízes de plantas de *Helianthus annuus* L., submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K_2HPO_4 , durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Tratamentos	-----		
	Controle	Sal	S + K
Catissol 01	17,58	0,84	0,81
Hélio 253	8,93	2,25	0,90

6.4 Solutos orgânicos (açúcares solúveis totais, aminoácidos livres totais, prolina e proteínas solúveis totais)

O ajustamento osmótico é um importante mecanismo de resistência das plantas a condições de baixo potencial hídrico no ambiente radicular (OLIVEIRA NETO, 2008). Os solutos orgânicos podem concentrar-se distintamente em diferentes partes da planta, e cada um deles apresenta um efeito fisiológico diferente. É amplamente discutido que açúcares simples (principalmente frutose e glicose), alcoóis de açúcar (glicerol e inositol) e açúcares complexos, assim como proteínas e aminoácidos (prolina e glicinobetaína), podem induzir um ajustamento osmótico para superar as consequências negativas do déficit hídrico na produção vegetal (SERRAJ & SINCLAIR, 2002; YOKOI et al., 2002).

A salinidade afetou o conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) de maneira distinta ambas as cultivares. Em folhas, apenas a cultivar Catissol 01 foi afetada, causando uma redução em torno de 60% no conteúdo de AST, em relação ao controle (Tabela 12). Já nas raízes, apenas Hélio 253 foi afetada pela presença de NaCl, observando-se uma redução em torno de 70% no conteúdo de AST, quando comparado com o controle (Tabela13). Com relação ao incremento de K^+ a solução salina (S + K), observou-se efeito significativo apenas em raízes de Hélio 253, observando-se o maior acúmulo de AST nesta cultivar, cerca 5,13 vezes mais, em relação ao tratamento salino (Sal). Tendo o tratamento S + K revertido o efeito causado pelo sal em Hélio 253 (Tabela 13).

Na presença de NaCl, o conteúdo de açúcares solúveis totais diminuiu em folhas da cultivar Catissol 01, e em raízes de Hélio 253, em relação aos controles. Contudo, o incremento de K^+ a solução salina, proporcionou em Hélio 253 um aumento significativo no acúmulo de AST, em relação ao tratamento contendo NaCl, e em Catissol 01, manteve as mesmas concentrações obtidas com a salinidade.

O aumento do acúmulo de carboidratos causado pela salinidade já é conhecido há pelo menos 50 anos (CHEESEMAN, 1988). Segundo Ashraf e Harris (2004), os açúcares contribuem em cerca de 50% ou mais para o potencial osmótico total sob estresses abióticos, além de prevenir contra a desidratação e serem fonte de energia para células ativas sob condições de estresse (ELAVUMOOTIL et al., 2003). Em diferentes culturas como em milho (KHOLLOVA et al., 2010), mamona (BABITA et al., 2010), trigo (NIO et al., 2011), girassol (AKRAM & ASHRAF, 2009) o aumento dos açúcares foi considerado um indicativo da ocorrência da osmorregulação.

Neste trabalho e particularmente em raízes da cultivar Hélio 253, é possível que o aumento dos AST possa estar relacionado à osmorregulação, visto que o estado hídrico foi mantido, contudo não se pode excluir que tal aumento seja devido a uma maior degradação de amido e/ou uma maior translocação de AST das folhas para as raízes, para garantir o crescimento da planta.

Avaliando os teores de aminoácidos livres totais (AALT) em folhas, a salinidade causou efeito significativo apenas em Hélio 253, provocando um aumento em torno de 49% na concentração de AALT, em relação ao controle (Tabela 13). Já nas raízes, a salinidade afetou apenas Catissol 01, provocando uma redução em torno de 40% na concentração de AALT, quando comparado ao controle (Tabela 12). Com relação ao incremento de K^+ a solução salina (S + K), houve efeitos significativos apenas em

Catissol 01, observando-se um aumento de aproximadamente 46% em folhas e 91% em raízes, nas concentrações de AALT, em relação ao tratamento salino (Sal).

Resultados com aumento significativo da concentração de AALT em folhas também foram relatados na literatura, como em cártamo (ABDEL-NASSER & ABDEL-ASAL, 2002) e em girassol (RADY et al., 2011), sob estresse salino, confirmando em partes os resultados obtidos neste trabalho. O aumento na concentração de aminoácidos livres totais observados pode estar relacionado à proteólise. Essa acumulação nos tecidos foliares pode ser considerada um sinal de tolerância das plantas quando são submetidas a estresse salino (DLUZNIEWKA et al., 2006; OLIVEIRA, 2008).

Bezerra (2011), estudando quatro cultivares de girassol sob estresse salino, afirma que a diminuição observada nos AALT nas raízes da cultivar Catissol 01, pode estar relacionada a uma mobilização de aminoácidos para a síntese de novas proteínas a serem repostas devido ao excesso de catabolismo das mesmas, ocorrido provavelmente na fase de alarme que é caracterizada primariamente pelo processo de degradação de proteínas (ROCHA, 2003).

Um dos papéis desempenhados pelos aminoácidos é atuar como fonte de nitrogênio e carbono prontamente utilizáveis na tentativa de reverter os efeitos causados pelo estresse salino (HANDA et al., 1983). Assim, é possível que a maior disponibilidade de esqueletos de carbono favoreceu a formação de AST no genótipo Hélio 253, no tratamento S + K. Resultados semelhantes foram obtidos com girassol por Delgado e Sánches-Raya (1999) e Shahbaz et al. (2011), onde observou-se que o suprimento de K^+ a solução salina promoveu acréscimo nas concentrações de AALT.

Tabela 12. Teste de contrastes para variáveis conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) – (μmol de GLU/g MS) em folhas e raízes e conteúdo de aminoácidos livres totais (ALLT) – (μmol de GLU/g MS) em folhas e raízes, de plantas da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K_2HPO_4 , durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Catissol 01			
	ASTfolhas	ASTraiz	AALTfolha	AALTraiz
Cont. vs Sal	11,559**	1,081 ^{n.s.}	0,835 ^{n.s.}	2,137*
Sal vs Sal + K	2,095*	-0,170 ^{n.s.}	2,720**	2,144*
Tratamentos	ASTfolhas	ASTraiz	AALTfolha	AALTraiz
Cont.	32,51	18,54	229,53	117,30
Sal	12,40	14,68	201,45	61,23
Sal + K	16,05	14,07	292,90	117,46

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student

Tabela 13. Teste de contrastes para variáveis conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) – (μmol de GLU/g MS) em folhas e raízes e conteúdo de aminoácidos livres totais (ALLT) – (μmol de GLU/g MS) em folhas e raízes, de plantas da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K_2HPO_4 , durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Hélio 253			
	ASTfolhas	ASTraiz	AALTfolha	AALTraiz
Cont. vs Sal	-0,043 ^{n.s.}	3,630**	-2,821**	0,162 ^{n.s.}
Sal vs Sal + K	0,855 ^{n.s.}	6,360**	-1,184 ^{n.s.}	1,867 ^{n.s.}
Tratamentos	ASTfolhas	ASTraiz	AALTfolha	AALTraiz
Cont.	11,07	18,46	193,75	85,05
Sal	11,15	5,49	288,62	80,80
Sal + K	12,63	28,21	248,77	129,78

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student

Com relação ao acúmulo de proteínas solúveis totais (PST), em folhas, a salinidade causou efeito apenas em Catissol 01, provocando um aumento na concentração de PST em aproximadamente 20%, em relação ao controle (Tabela 14). E nas raízes, a salinidade causou efeito apenas em Hélio 253 provocando um aumento em torno de 25% na concentração de PST, em relação ao controle. O incremento de K^+ à solução salina (S + K) causou efeito significativo apenas em raízes de Hélio 253, observando-se uma redução aproximada de 31% na concentração de PST em relação ao tratamento salino (Tabela 15).

A salinidade e a seca podem estimular a síntese de proteínas solúveis que participam do ajustamento osmótico (KOYRO et al., 2006) e/ou da manutenção da estrutura de outras proteínas. Esses dados mostram que o estresse salino estimulou a síntese de proteínas nas folhas em Catissol 01 e nas raízes em Hélio 253. Embora seja frequente a diminuição no teor de proteínas solúveis totais nas plantas submetidas à salinidade em consequência da diminuição da síntese proteica ou pelo aumento da proteólise (PARIDA & DAS, 2005), sabe-se que muitas plantas tem a síntese proteica estimulada quando submetidas às condições de salinidade (SEN et al., 2002).

Ashraf e O'Leary (2000) estudando trigo, relataram que as proteínas solúveis totais aumentaram devido ao estresse salino em todas as cultivares testadas, mas que este aumento foi mais acentuado em uma cultivar sensível sal, concordando parcialmente dos resultados obtidos nos tecidos foliares de Catissol 01.

Com relação a cultivar Hélio 253, onde houve um aumento nas concentrações de PST em raízes. Estes dados também estão de acordo com alguns resultados divulgados na literatura, onde o conteúdo mais elevado de proteínas solúveis foi observado em raízes de espécies mais tolerantes ao sal do que sensíveis, por exemplo, em girassol (ASHRAF & TUFAIL, 1995), trigo (HURKMAN et. al., 2009) e arroz (CHENG, 2005). O decréscimo observado em Hélio 253 pode ser devido à alteração no equilíbrio entre os aminoácidos e as proteínas solúveis devido a salinidade elevada ou pode ser devido à quebra de proteína por um processo proteolítico. A diminuição do teor de PST tem sido relatada em muitas plantas sob estresse salino, independentemente da sua tolerância ao sal (ASHRAF & FÁTIMA, 1995; PARIDA & DAS, 2005).

Conforme Rabe (1993), a salinidade e a seca estimulam um aumento na concentração de alguns aminoácidos, dentre eles a prolina. Maggio et al. (2002) observaram que a prolina pode atuar como uma molécula sinalizadora de regulação capaz de ativar as múltiplas respostas que participam do processo da adaptação da

planta. Dessa forma, a síntese de prolina pode estar relacionada ao estresse osmótico, sendo um importante indicador para seleção de espécies capazes de acumular elevadas concentrações desse aminoácido garantindo sua resistência a períodos de seca (BRILHANTE, 2006).

A salinidade afetou apenas Catissol 01, observando-se um aumento no conteúdo de prolina (PRO) de aproximadamente 12% nas raízes desta cultivar, em relação ao controle (Tabela 14). O incremento de K^+ à solução salina (S + K) causou efeito apenas em Hélio 253, observando-se um acréscimo em torno de 22% na concentração de PRO nas raízes, em relação ao tratamento salino (Tabela 15).

Resultados semelhantes foram obtidos por Melo (2012), onde a salinidade promoveu um aumento no acúmulo de PRO na cultivar Catissol 01. Conforme o autor, apesar da PRO ser usada pelas plantas para estabilizar as membranas e manter a conformação de proteínas sob baixo potencial de água no solo (EFEOGLU et al., 2008) e atuar como uma molécula sinalizadora de regulação capaz de ativar as múltiplas respostas que participam do processo da adaptação da planta a condições de estresse (SARKER et al., 2005), as maiores concentrações se deram, provavelmente, devido a distúrbios generalizados no metabolismo de aminoácidos, associado com o aumento do catabolismo de proteínas além da senescência induzida pela salinidade ou outros distúrbios metabólicos provocados pelo déficit hídrico ou salino (LUTTS et al., 1996; SILVEIRA et al., 2003; ROCHA, 2003).

Tabela 14. Teste de contrastes para variáveis conteúdo de prolina (PRO) – (μmol de PRO/g MS) em folhas e raízes e conteúdo de proteínas solúveis totais (PST) – (μmol de PRO/g MS) em folhas e raízes de plantas da cultivar Catissol 01, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Catissol 01			
	PSTfolha	PSTraiz	PROfolha	PROraiz
Cont. vs Sal	-2,375*	1,636 ^{n.s.}	1,527 ^{n.s.}	-2,419*
Sal vs Sal + K	0,470 ^{n.s.}	0,817 ^{n.s.}	0,854 ^{n.s.}	-1,915 ^{n.s.}
Tratamentos	Catissol 01			
	PSTfolha	PSTraiz	PROfolha	PROraiz
Cont.	0,58	0,09	259,69	197,06
Sal	0,70	0,08	221,14	219,42
Sal + K	0,73	0,09	242,71	201,72

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

Tabela 15. Teste de contrastes para variáveis conteúdo de prolina (PRO) – (μmol de PRO/g MS) em folhas e raízes e conteúdo de proteínas solúveis totais (PST) – (μmol de PRO/g MS) em folhas e raízes de plantas da cultivar Hélio 253, submetidas aos tratamentos Controle = Solução nutritiva (SN); Sal = SN + 100mM de NaCl; S + K= SN + 100mM de NaCl + 4mmol/L de K como K₂HPO₄, durante 10 dias em cultivo hidropônico.

Contraste	Hélio 253			
	PSTfolha	PSTraiz	PROfolha	PROraiz
Cont. vs Sal	-1,107 ^{n.s.}	-2,448*	-0,222 ^{n.s.}	-1,548 ^{n.s.}
Sal vs Sal + K	0,006 ^{n.s.}	-4,241**	0,427 ^{n.s.}	4,806**
Tratamentos	Hélio 253			
	PSTfolha	PSTraiz	PROfolha	PROraiz
Cont.	0,58	0,09	323,39	186,39
Sal	0,64	0,12	238,01	200,69
Sal + K	0,64	0,08	248,78	245,10

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo a 5% pelo teste de Student.

CONCLUSÕES

As cultivares Catissol 01 e Hélio 253 respondem de forma diferenciada ao estresse salino, induzido pelo NaCl e ao fornecimento de K^+ em solução salina, na forma de K_2HPO_4 .

O tratamento contendo NaCl foi capaz de induzir alterações significativas nos indicadores de estresse associados ao crescimento (TCA, TCR, RAF e RPF), ao status hídrico (CRA) e as membranas celulares (VE) das plantas de girassol. Contudo, essas alterações foram mais expressivas em Catissol 01, sendo a cultivar mais afetada pela salinidade.

O estresse salino aumentou o conteúdo de Na^+ nas folhas e raízes de ambas as cultivares, porém, apenas Catissol 01 apresentou toxidez devido a presença de NaCl, já que a relação Na^+/K^+ foi menor que 1,0 em ambos os órgãos da planta.

Apenas Catissol 01 apresentou diminuição do conteúdo de K^+ em condição de estresse salino, e a manutenção no conteúdo de K^+ nestas condições pode indicar efeito benéfico nas plantas. Desta forma, a cultivar Hélio 253 garante seu desenvolvimento em ambiente salino sem ser afetado por toxicidade iônica, já que é mais eficiente quanto à acumulação de Na^+ e K^+ que Catissol 01.

O incremento de K^+ a solução salina reduziu o acúmulo de Na^+ em ambas as cultivares, sendo o efeito mais expressivo em Catissol 01, minimizando os danos as membranas celulares (VE), causados pelo NaCl.

De acordo com os resultados obtidos pelos conteúdos de AST, ALLT, PRO e PST, provavelmente ambos os genótipos não usam o mecanismo de osmorregulação baseado no acúmulo destes osmólitos. É possível que a acumulação destes solutos tenha ocorrido em decorrência de distúrbios metabólicos promovidos pela salinidade.

É provável que esse mecanismo de osmorregulação tenha ocorrido apenas em Hélio 253, visto que este genótipo apresentou um aumento no acúmulo de AST, e que o K^+ tenha papel fundamental nesse processo.

Os tratamentos contendo K^+ na solução salina foram capazes de aliviar os efeitos deletérios causados pelo NaCl, de forma mais expressiva em Catissol 01, do que em Hélio 253. Confirmando a hipótese que a resposta aos tratamentos é genótipo dependente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBADI, J.; GERENDÁS J.; SATTELMACHER B. Effects of potassium supply on growth and yield of safflower as compared to sunflower. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, v.171, p.272-280, 2008.

ABDEL-NASSER, L.E.; ABDEL-ASAL, A.E. Effect of elevated CO₂ and drought on proline metabolism and growth of safflower (*Carthamus mareoticus* L.) seedlings without improving water status. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, v.5, n.5, p.523–528, 2002.

ABOISSA, Óleos Vegetais. Girassol. Disponível em: <<http://www.aboissa.com.br/girassol/index.html>>. Acesso em: 04 de jan. 2015.

AKRAM, M.S., ATHAR, H.U.R., ASHRAF, M. Improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by foliar application of potassium hydroxide (KOH) under salt stress. – *Pak. J. Bot.* v.39, p.769-776, 2007.

AKRAM, M.S., M. ASHRAF, N.A. Effectiveness of potassium in mitigating salt-induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Flora*, 204(6): p.471-483, 2009.

ALVES, F.A.L.; FERREIRA-SILVA, S.L.; LIMA, J.P.S. & SILVEIRA, J.A.G. Efeitos do KCl e CaCl₂ na absorção e transporte de Na em cajueiro exposto a salinidade. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.39, p.287-294, 2008.

ALVES, F. A. L. Efeito do Ca²⁺ externo no conteúdo de Na⁺ e K⁺ em cajueiros expostos a salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p. 602-608, 2011.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Boletim Mensal de Biodiesel*, 2009. Disponível em: <www.anp.gov.br/?dw=25747>. Acesso em: Janeiro de 2015.

ARRUDA, N. T.; OLIVEIRA, F.A.; BATISTA, J. A.; MENEZES, Ê. F.; RODRIGUES, A. F. Taxa De Crescimento E Teores De Nutrientes Na Planta Da Cultura Do Girassol Submetido Á Aplicações De Calcário E De Fósforo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** Grupo Verde de Agricultura Alternativa (Gvaa) Issn 1981-8203 (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.4, p. 179 -184, 2010.

ASCH, F.; DINGKUHN, M.; DORFFLING, K.; MIEZAN, K. Leaf K/Na ratio predicts salinity induced yield loss in irrigated rice. **Euphytica**, v.113, p.109–118, 2000.

ASHRAF, M.; FATIMA, H. Responses of salt-tolerant and salt sensitive lines of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to salt stress. **Acta Physiol. Plant.**, 17(1), p.61-70, 1995.

ASHRAF, M.; TUFAIL, M. Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **J. Agron. Crop Sci.**, 174, p.351-362,1995.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, p.3-16, 2004.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. **Env. Exp. Bot.**, v.59, 206-216, 2007.

ASHRAF, M.; AKRAM, N.A. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: an analytical comparison. **Biotechnol. Adv.**, v.27, p.744-52, 2009.

AZEVEDO NETO, A.D.; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J.; ABREU, C.E.B.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 1, p. 87-94, 2006.

BABITA, M.; MAHESWARI, M.; RAO, L. M. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. **Environmental and Experimental Botanic**, v. 69, p.243-249, 2010, 2010.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.

BELLONCH-GONZALEZ, M.; ROMERA, J.; CRISTESCU, S.; HARREN, F.; FOURNIER, J.M.; BENLLOCH, M. K⁺ starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure via ethylene synthesis in sunflower plants. **J. Exp. Bot.**, v.61, p.1139–1145, 2010.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Oleaginosa potencial do Nordeste para a produção de biodiesel. Campina Grande – PB. **Documentos 177**, 2007.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, p.42, 2003.

BEZERRA, L.L. Caracterização de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidos ao estresse salino. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Dissertação de Mestrado**, p.63, Mossoró, 2011.

BLUM, A.; EBERCON, A. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. **Crop Science**, Madison, v.21, n.1, p.43-47, 1981.

BOTELLA, M.A.; MARTINEZ, V.; PARDINES, J.; CERDA, A. Salinity induced potassium deficiency in maize plants. **J. Plant Physiol.**, v.150, p.200–205, 1997.

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

BRAGA, O.R. Educação e convivência com o semi-árido: introdução aos fundamentos do trabalho político-educativo no semi-árido brasileiro. **Educação no contexto do semi-árido brasileiro**. Fundação Konrad Adenauer, p.25–44, Fortaleza, 2004.

BRILHANTE, J.C.A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no potencial osmótico de folhas de *Atriplex nummularia* submetidas ao NaCl, seca e PEG. Universidade Federal do Ceará, **Dissertação de Mestrado**, Fortaleza, 2006.

BYRT, C.S.; PLATTEN, J.D.; SPIELMEYER, W.; JAMES, R.A.; LAGUDAH, E.S.; DENNIS, E.S.; TESTER, M.; MUNNS, R. HKT1;5-like cation transporters linked to Na⁺ exclusion loci in wheat, *Nax2* and *Kna1*. **Plant Physiol.**, v.143, p.1918–1928, 2007.

CAMARA, G. M.; HEIFFIG, L. S. (ed.) **Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para o biodiesel**. Piracicaba: ESALQ, p. 57-80, 2006.

CANAKCI, M.; Van GERPEN, J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. **Trans. ASAE.**, v. 4, p. 1429-1436, 2001.

CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J.M. **Fases de desenvolvimento da planta do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. Documentos, v.58, p.24, 1994.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R. ; BALLA, A. ; LEITE, R. M. V. B. C. ; KARAM, D. ; MELLO, H.C. ; GUEDES, L.C.A. ; FARIAS, J. R. B. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, p. 827-833, 1997.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In. -: LEITE, E.M.V.B. de C. BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de (Ed). **Girassol no Brasil**. Londrina: **Embrapa Soja**, p. 163-218. 2005.

CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; MOREIRA, A.; SALINET, L. S.; VERONESI, C. O. Rochas Brasileiras Como Fonte Alternativa de Potássio Para a Cultura do Girassol. **Espaço & Geografia**, V.9, N. 2, p.179-193, 2006.

CAVALCANTI, M.L.F.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F.A.L. & SIQUEIRA, E.C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: Germinação e características de crescimento. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, v.9, p.57-61, 2005.

CAVALCANTE, L. F. et al. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1281- 1290, 2010.

CHA-UM, S.; NHUNG, N.T.H.; KIRDMANEE, C. Effect of mannitol- and salt-induced isoosmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of rice cultivars (*Oryza sativa* L. spp. indica). **Pak. J. Bot.**, v.42, p.927–941, 2010.

CHEESEMAN, J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. Contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Plant Physiol.**, p. 547-550, 1988.

CHEN, T.H.H.; MURATA, N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Plant Biology**, n.5, p.250–257, 2002.

CHENG, F. M.; ZHONG, L. J.; WANG, F.; ZHANG, G. P. Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains. **Food Chem.**, n.90, p.39–46, 2005.

CONAB, (2014). Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: Janeiro de 2015.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.514-521, 2009.

COSKUN, D.; BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. Regulation and mechanism of potassium release from barley roots: an in planta $^{42}\text{K}^+$ analysis. **New Phytol.**, v.188, p.1028–1038, 2010.

CUNHA, P. C. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de *Jatropha curcas* L. cultivada sob estresse salino. **Dissertação de mestrado**. Recife-PE. 2009.

DANTAS, J.P.; MARINHO, F.J.L.; FERREIRA, M.M.M.; AMORIM, M. DO S.N.; ANDRADE, S.I. DE O.; SALES, A.L. Avaliação de genótipos de feijão-de-corda sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DANTAS, D.C; SANTOS, R.S.S.; NOGUEIRA, F.P.; DIAS, N.S.; FERREIRA NETO, M. Utilização de águas salobras no cultivo hidropônico da alface. **Irriga**, Botucatu, v.15, p.111- 118, 2010.

DA SILVA, J. A. G.; SCHWERTNER, D. V.; CARBONERA, R.; KRUGUER, C. A. M. B.; CRESTANI, M.; GAVIRAGHI, F.; SCHIAVO, J.; ARENHARGDT, E. G. Distância genética em genótipos de girassol. **R. Bras. Agrocência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p.326-337, 2011.

DELGADO, I. C.; SÁNCHEZ-RAYA, A. J. Physiological response of sunflower seedlings to salinity and potassium supply, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 30:5-6, p.773-783, 1999.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeito 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: INCT sal, 2010.

DICKMANN, L.; CARVALHO, M.A.C.; BRAGA, L.F.B. & SOUSA, M.P. Comportamento de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a estresse salino. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.3, p.64-75, 2005.

DLUZNIEWKA, P.; GESSLER, A.; KOPRIVA, S.; STRNAD, M.; NOVÁK, O.; DIETRICH, H. Exogenous supply of glutamine and active cytokinin to the roots reduces NO₃ – uptake rates in poplar. **Plant Cell Environ.**, v.29, p.1284–97, 2006.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric Method for determination of sugars and related compounds. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EBERT, G.; EBERLE, J.; ALI-DINAR, H. & LUDDERS, P. Ameliorating effects of Ca(NO₃)₂ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl- stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.). **Sci. Hortic.**, v.93, p.125-135, 2002.

EFEUGLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, 2008.

EGILLA, J.N.; DAVIES, F.T.; BOUTTON, T.W. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of hibiscus rosa-sinensis at three potassium concentrations. **Photosynthetica**, v.43, p.135–140, 2005.

ELAVUMOOTIL, O.C.; MARTIN, J.P.; MORENO, M.L. Changes in sugars, sucrose synthase activity and proteins in salinity tolerant callus and cell suspension cultures of *Brassica oleracea* L. **Biol. Plant**, v.46, p.7-12, 2003.

EMBRAPA. Especial Embrapa: integração lavoura, pecuária e floresta. **Agroanalysis**, v. 29, n. 2, p. 27-32, 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas / 2. Ed.** Emanuel Epstein e Arnold J. Bloom. trad. Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: Editora Planta. p. 403, 2006.

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

EVANS, J.R.; PORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell Environ.**, v.24, p.755-761, 2001.

FARIAS, S. G. G. Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.)). **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Campina Grande. Brasil, 2008.

FARIAS, S. G. G. et. al. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de Glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J.G. de; CURI, N.; PINTO, J E.B.P.; GUIMARÃES, P de T. G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1613-1619, 2002.

FERNANDES, P.D.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, E. P.; MEDEIROS, S. S. Biossalinidade e produção agrícola. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, p.472, 2010.

FERREIRA, R. G.; et al. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FLOWERS, T.J. Improving crop salt tolerance. **J. Exp. Bot.**, v.55, p.307-319, 2004.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. da. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 94-99, 2005.

GRUWEL, M. L. H.; RAUW, V. L.; LOEWEN, M.; ABRAMS, S. R. Effects of sodium chloride on plant cells: a ^{31}P and ^{23}Na NMR system to study salt tolerance. **Plant Sci.**, v.160, p.785–794, 2001.

HANDA, S.; BRESSAN, R.A.; HANDA, A.K.; CARPITA, N.C. & HASEGAWA, P.M. Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress. **Plant Physiology**, Maryland, v.73, p.834-43, 1983.

HOAGLAND, D. R. & J. P. ARNON. The water culture method for growing plants without soils. **California Agricultural Experimental Station**, Berkeley. p. 347, 1950.

HORIE, T.; HAUSER, F.; SCHOEDER, J.I. HKT transporter-mediated salinity resistance mechanisms in *Arabidopsis* and monocot crop plants. **Trends Plant Sci.**, v.14, p.660–668, 2009.

HSIAO, T.C.; XU, L.-K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 1595-1616, 2000.

HURKMAN, W. J.; VENSEL, W. H.; TANAKA, C. K.; WHITEHAND, L.; ALTENBACH, S. B. Effect of high temperature on albumin and globulin accumulation in the endosperm proteome of the developing wheat grain. **J. Cereal Sci.**, v.49, p. 12–23, 2009.

IKEDA, K.; IGIC, B.; USHIJIMA, K.; YAMANE, H.; HAUCK, N.R.; NAKANO, R.; SASSA, H.; IEZZONI, A.F.; KOHN, J.R.; TAO, R. Primary structural features of the S haplotype-specific F-box protein, SFB, in *Prunus*. **Sex. Plant Reprod.**, v.16, p.235–243, 2004.

IRIGOYEN, J. J.; EMERICH, D. W.; SANCHEZ-DIAZ, M. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. **Physiologia Plantarum**, v. 84, p.55-60, 1992.

JABEEN N.; AHMAD R., Foliar Application of Potassium Nitrate Affects the Growth and Nitrate Reductase Activity in Sunflower and Safflower Leaves under Salinity. **Not Bot Horti Agrobo**, v.39, p.172-178, 2011.

JIN, S.H.; HUANG, J.Q.; Li, X.Q.; ZHENG, B.S.; WU, J.S.; WANG, Z.J.; LIU, G.H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. **Tree Physiol.** v.31, p.1142–1151, 2011.

KAYA, C.; KIRNAK, H.; HIGGS, D. Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). **J. Plant. Nutr.** v.24, p.1457-1471, 2001a.

KAYA, C.; HIGGS, D.; KIRNAK, H. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. **BULG. J. Plant. Physiol.**, v.27, p.47-59, 2001b.

KAYA, C.; HIGGS, D.; SALTALI, K.; GEZERAL, O. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. **J. Plant. Nutr.**, v.25, p.1415-1427, 2002.

KHOLOVA, J.; HASH, C.T.; KAKKERA, A.; KOCOVA, M.; VADEZ, V. Constitutive water-conserving mechanisms are correlated with the terminal drought tolerance of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. **Journal of Experimental Botany** 6: 369- 377, 2010.

KOYRO, H.W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.56, n.2, p.136-146, 2006.

LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environ. Exp. Bot.**, v.49, p.107-120, 2003.

LÄUNCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji, K.K. (ed), *Agricultural Salinity Assessment and Management*. **American Society of Civil Engineers**. p. 113-137, 1990.

LÄUCHLI, A.; GRATTAN, S.R. Plant growth and development under salinity stress. In: JENKS, M.A.; HASEGAWA, P.M.; JAIN, S.M. *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*. **Springer**, p.1–32, Dordrecht, 2007.

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

LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de. (Ed.). *Girassol no Brasil*. Londrina: **Embrapa Soja**, p. 641, 2005.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.O.; ALMEIDA JÚNIOR, A.B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Agricultura Sustentável**, Mossoró, v.2, n.2, p. 79–86, 2007.

LIMA MELO, Y. Evidências de ajustamento osmótico em plantas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sob estresse salino e hídrico. **Monografia** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p.55, Natal, 2011.

LOPES JC; MACEDO CMP. Germinação de sementes de sob influência do teor de substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, p.79-85, 2008.

LUTTS, S.; KINET, J.M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Annals of Botany**, v.78, p.389-398, 1996.

MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K⁺ Nutrition and Na⁺ Toxicity: Basis of Cellular K⁺/Na⁺ Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, n. 02, p. 123-133, 1999.

MACÊDO, C.E.C.; BARROSO, P.A.V.; MOURA, G.E.D.D.; ALLOUFA, A.I.A. Efeito do NaCl sobre o crescimento e a multiplicação *in vitro* de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 27, n. 2, p. 194-197, 2005.

MAGGIO, A.; MIYAZAKI, S.; VERONESE, P.; FUJITA, T.; IBEAS, J.I.; DAMSZ, B.; NARASIMHAN, M.L.; HASEGAWA, P.M.; JOLY, R.J.; BRESSAN, R.A. Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? **Plant Journal**, v.31, n.6, p.699–712, 2002.

MAIA, P. S. P.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CASTRO, D. S.; FREITAS, J. M. N.; LOBATO, A. K. S.; COSTA, R. C. L. Conteúdo Relativo de Água, Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho submetidas a Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl. 2, p. 918-920, 2007.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**, 3rd ed.; Academic Press: London, p. 178–189, UK, 2012.

MELO, Y. L. de. Caracterização e desempenho agrônômico de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto a marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos em diferentes microrregiões edafoclimáticas do Rio Grande do Norte. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal Rural do Semiárido, 2012.

MELONI, D.A.; GULOTTA, M.R.; MARTÍNEZ, C.A.; OLIVA, M.A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine betaine accumulation in *Prosopis alba*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.16, p.39-46, 2004.

MENDES, J. S.; et al. Variabilidade temporal da fertilidade, salinidade e sodicidade de solos irrigados no município de Congo, PB. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.13-19, 2008.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.281-298, 2006.

MIAN, A.; OOMEN, R.J.; ISAYENKOV, S.; SENTENAC, H.; MAATHUIS, F.J.; VERY, A.A. Over-expression of an Na⁺ and K⁺ permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. **Plant J.**, v.68, p.468–479, 2011.

MOHAMEDIN, A.A.M.; EL-KADER, A.A.; BADRAN, N.M. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to plants salt stress under different water table depths. **J. Appl. Sci. Res.**, v.2(12), p.1175-1184, 2006.

MORAIS D.L.de.; VIÉGAS, R.A.; SILVA, L. M.M.; LIMA JÚNIOR, A.R.; COSTA, R.C.L. da; ROCHA, I.M.A.; SILVEIRA, J.A.G. Acumulação de íons e metabolismo de N em cajueiro anão em meio salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v. 11, n.2, p. 125-133, 2007.

MUNNS, R.; SCHACHTMAN, D.P.; CONDON, A.G. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.561–569, 1995.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: Bringing them together. **New Phytologist**, v. 167, p.645-663, 2005.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651–681, 2008.

NAVARRO, A.; BAÑON, S.; OLMOS, E; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Effects of sodium chloride on water potential components, hydraulic conductivity, gas exchange and leaf ultrastructure of *Arbutus unedo* plants. **Plant Science**, v.172, p.473-480, 2007.

NERY, R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-mansó irrigado com águas salinas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.551-558, 2009.

NEVES, O. S. C.; et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.

NIO, S.A.; CAWTHRAY, G.R.; WADE, L.J.; COLMER, T.D. Pattern of solutes accumulated during leaf osmotic adjustment as related to duration of water deficit for wheat at the reproductive stage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.49, p.1126-1137, 2011.

OLIVEIRA, L.B. de; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, M. da G. de V.X.; LIMA, J.F.W.F. de; MARQUES, F.A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA NETO, C.F. Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) submetidas à deficiência hídrica. **Dissertação de Mestrado**. UFRA, 2008.

OLIVEIRA, M. D. M. Indicadores de estresse salino em faveleira [*Cnidocolus phyllacanthus* (M. Arg.) Pax et K. Hoffm.], espécie promissora para produção do biodiesel. UFERSA - Mossoró, **Tese de Doutorado**, 2012.

PARAHYBA, R.E.R.; CAVALCANTI, V.M.M.; PERLATTI, F. Mineração no semiárido brasileiro. **Departamento Nacional de Produção Mineral**, Brasília, 2009.

PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: **TECBIO**, p. 68, 2003.

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

PATAKAS, A.; NIKOLAOU, N.; ZIOZIOIU, E.; RADOGLU, K.; NOITSAKIS, B. X. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, n.163, p.361-367, 2002.

PEOPLES, M.B.; FAIZAH, A.W.; REAKASEM, B.; HERRIDGE, D.F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. Canberra: **Australian International Center of Agricultural Research**, p.76, 1989.

PERVEZ, H.; ASHRAF, M.; MAKHDUM, M.I. Influence of potassium nutrition on gas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Photosynthetica**. v.42, p.251–255, 2004.

PINHEIRO, H. A.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; FERREIRA, V. M.; CÂMARA, C. A.; CABRAL, F. F.; OLIVEIRA, J. F.; CARVALHO, L. W. T.; SANTOS, J. M.; FILHO, B. G. Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v.27, p.385-392, 2008.

PLATTEN, J.D.; COTSAFTIS, O.; BERTHOMIEU, P.; BOHNERT, H.; DAVENPORT, R.J.; FAIRBAIN, D.J.; HORIE, T.; LEIGH, R.A.; LIN, H.X.; LUAN, S. Nomenclature for HKT transporters, key determinants of plant salinity tolerance. **Trends Plant Sci.**, v.11, p.372–374, 2006.

POVH, J. A. Efeitos de reguladores vegetais no desenvolvimento de *Salvia officinalis* L. e na produção de óleo essencial. **Dissertação de Mestrado**, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2004.

PRADO, R.M. & LEAL, R.M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. Catissol-01. **Pesq. Agropec. Trop.**, v.36, p.187-193, 2006.

RABE, E. Altered nitrogen metabolism under environmental stress conditions. In: Handbook of plants and crop science. **Mohammad Passaraki**, New York, 1993.

RADY, M.M.; SADAK, M.S.; EL-BASSIOUNY, H.M.S.; ABD EL-MONEM, A.A. Alleviation the adverse effects of salinity stress in sunflower cultivars using nicotinamide and α -tocopherol. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, n.5, v.10, p.342–355, 2011.

REGITANO NETO, A.. Produção e Perfil de Ácidos Graxos no Óleo de Girassol. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO GIRASSOL, 19.; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 7., 2011, Aracaju. **Anais...** Aracaju (SE), p. 359-362, 2011.

RIBEIRO, M. R.; et al. 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**. p. 449-484, 2009.

ROCHA, I.M.A. Regulação metabólica da acumulação de prolina em folhas de cajueiro expostas ao estresse salino. **Tese de Doutorado**. Fortaleza: UFC, 2003.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; FERREIRA, P. A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v.6, n.3, p.1-12, 2006.

SADEGHI, H. Effects of sodium chloride on some physiological traits and chemical composition of two safflower cultivars. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v.15, n.2, p.297–301, 2011.

SANTANA, M. J.; SILVEIRA, A. L.; VIEIRA, T. A. Produção do feijoeiro irrigado com diferentes concentrações de água salina. **Global Science and Technology**, v.2, p.45-54, 2009.

SARKER, B.C.; HARA, M.; UEMURA, M. Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. **Scientia Horticulturae**, v.103, p.387-402, 2005.

SEN, D. N.; KASERA, P. K.; MOHAMMED, S. Biology and Physiology of Saline Plants. In: Pessarakli, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 2002.

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

SERTÃO, M. A. J. Uso de corretivos e cultivo do capim Urocloa (*Urocloa mosambicensis* (Hack.) Dandy) em solos degradados do Semi-árido. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

SHABALA, S.; POTTOSIN, I.I. Potassium and potassium-permeable channels in plant salt tolerance. **Signal. Commun. Plants**, p.87–110, 2010.

SHABALA, L.; MACKAY, A.; TIAN, Y.; JACOBSEN, S.; ZHOU, D.; SHABALA, S. Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Physiologia Plantarum**, n.1, p.1-13, 2012.

SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M.N.A.; AKRAM, A.; HANIF, S.; HAMID, S.; JOHAM; REHMAN, R. Salt-induced modulation in growth, photosynthetic capacity, proline content and ion accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Acta Physiol. Plant.**, v.33, p.1113-1122, 2011.

SILVA, F. A. M.; et al. Efeito do estresse salino sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 52-59, 2000.

SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G., MOURA, C. R. W.; Muniz, M. A. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. **Revista Ceres**, v.56, p.602-610, 2008.

SILVA, H.L. Potencial alelopático da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.). Pato 64 Branco-PR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Dissertação de Mestrado**, 2009.

SILVEIRA, J.A.G.; VIÉGAS, R.A.; ROCHA, I.M.A; MONTEIRO-MOREIRA, A.C.O; MOREIRA, R.M.; OLIVEIRA, J.T.A. Proline accumulation and glutamine synthetase are increased by salt induced proteolysis in cashew leaves. **Journal of Plant Physiology**, Rockville, v.160, p.115-123, 2003.

SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIEGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, p. 472, 2010.

SLAVICK, B. Methods of studying plant water relations. **New York: Springet Verlong**, p.449, 1974.

SOLEIMANZADEH, H.; HABIBI, D.; ARDAKANI, M.R.; PAKNEJAD, F.; REJALI, F.. Effect of Potassium Levels on Antioxidant Enzymes and Malondialdehyde Content under Drought Stress in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.5, p.56-61, 2010.

SOUSA, A. B. O.; et al. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.390-394, 2011.

SOUSA NETO, O.N.; DIAS, N.S.; FERREIRA NETO, M.; LIRA, R.B.; REBOUCAS, J.R. Utilização do rejeito da dessalinização da água na produção de mudas de espécies da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, p.123-129, 2011.

TSONEV, T.; VELIKOVA, V.; YILDIZ-AKTAS, L.; GUREL, A.; EDREVA, A. Effect of water deficit and potassium fertilization on photosynthetic activity in cotton plants. **Plant Biosyst.**, v.145, p.841–847, 2011.

STRANGE, K. Cellular volume homeostasis. **Advances in physiology education**, v.28, p.155-159, 2004.

TABATABAEI, S.J.; FAKHRZAD, F. Foliar and soil application of potassium nitrate affects the tolerance of salinity and canopy growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* var 'Boulevard'). **Am J Agri Biol Sci.**, v.3, p.544-550, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGHER, E. **Plant physiology**. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4ª ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Ann. Bot.**, v.91, p.503–527, 2003.

TOMEMORI, H.; HAMAMURA, K.; TANABE, K. Interactive effects of sodium and potassium on the growth and photosynthesis of spinach and komatsuna. **Plant Prod. Sci.** v.5, p.281–285, 2002.

TRAVASSOLS, K.D.; SOARES, F.A.L.; GHEYIS, S.H.R.; SILVA, D.R.S.; NASCIMENTOS, A.K.S. do; DIAS, N.da S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande – PG, v.15, n.4, p.371-376, 2011.

UCHÔA, S. C. P.; IVANOFF, M. E. A.; ALVES, J. M. A. A.; MARTINS, T. S.; MARTINS, S. A. Adubação de Potássio em Cobertura nos Componentes de Produção de Cultivares de Girassol. **Revista. Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 8- 15, 2011.

UNGARO, M. R. G. Potencial da cultura do girassol como fonte de matéria-prima para o programa nacional de produção e uso de biodiesel. *In*: CAMARA, G. M.; HEIFFIG, L. S. (ed.) **Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para o biodiesel**. Piracicaba: ESALQ, p. 57-80, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 2014. Foreign Agricultural Service. **Circular Series** – April 2014.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.164, 1994.

VIEIRA, O. V.. Características da cultura do girassol e sua inserção em sistemas de cultivos no Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 14, n. 88, p. 18-26, 2005.

XIONG, L. & ZHU, J. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. **Plant, Cell and Environment**, Nottingham, v.25, n.2, p.131-139, 2001.

YOKOI, S.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. Salt Stress Tolerance of Plants. **JIRCAS Working Report**, West Lafayette, p. 25-33, 2002.