

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E RELAÇÕES
HÍDRICAS DE CULTIVARES DE GIRASSOL
SUBMETIDAS À SALINIDADE**

Autora: Fátima Marques de Almeida Maia
Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos Costa

Rio Verde – GO
Fevereiro de 2012

**RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E RELAÇÕES
HÍDRICAS DE CULTIVARES DE GIRASSOL
SUBMETIDAS À SALINIDADE**

Autora: Fátima Marques de Almeida Maia
Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos Costa

Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, no programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Ciências Agrárias.

Rio Verde – GO
Fevereiro de 2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

Maia, Fátima de Almeida.
M217r Respostas fotossintéticas e relações hídricas de cultivares de girassol submetidas à salinidade [manuscrito] / Fátima Marques de Almeida Maia. - 2012.
31 f. : il.

Orientador: Prof^o Dr^o Alan Carlos Costa.
Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, 2012.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, símbolos, siglas e abreviaturas.

Contém anexo.

1. *Helianthus annuus*. 2. Girassol – Cultivo. 3. Girassol – Salinidade. I. Título.

CDU: 582.998.16

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**

**RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E RELAÇÕES
HÍDRICAS EM CULTIVARES DE GIRASSOL
SUBMETIDAS À SALINIDADE**

Autora: Fátima Marques de Almeida Maia
Orientador: Alan Carlos Costa

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias – Área de concentração
Ciências Agrárias – Ciências Agrárias

APROVADA em 28 de fevereiro de 2012.

Prof. Dr. Eduardo Gusmão Pereira
Avaliador externo
UFV/MG

Prof. Dr. Frederico A. Loureiro Soares
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Alan Carlos Costa
Presidente da banca
IF Goiano/RV

A minha mãe Judite;

Ao meu esposo Francis e as minhas filhas Gabriela e Isabela;

Aos meus irmãos, Adriana e Daniel.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar sabedoria, amparar nos momentos difíceis e dar força interior para superar todas as dificuldades.

Ao meu esposo Francis, pelo amor, incentivo e apoio em todos os momentos.

As minhas filhas Gabriela e Isabela, pelo amor incondicional, que mesmo antes de nascerem me deram forças para superar todos os obstáculos para a realização deste trabalho.

A minha mãe Judite e meus irmãos Adriana e Daniel, pelo carinho e compreensão nos momentos difíceis.

Ao meu orientador professor Alan Carlos Costa, pela dedicação, compreensão, confiança e por todos os ensinamentos transmitidos.

À minha coorientadora professora Clarice Aparecida Megguer, pelo apoio, dedicação, incentivo e contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador professor Frederico Antônio Loureiro Soares e a Professora Marialva Alvarenga Moreira, pelas sugestões e disponibilidade na execução deste projeto.

À professora Juliana de Fátima Sales, por disponibilizar o laboratório de sementes, e a Adriene e Apollyana, por auxiliarem nos testes de germinação.

Ao Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde e ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, por proporcionarem a realização deste curso.

Aos docentes e coordenadores do Programa de Pós- Graduação em Ciências Agrárias, que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Karen, Sueisla, Márcio, Mariluzza, Laiara, pela amizade, companheirismo e apoio nos momentos difíceis.

Ao Jônatas, que além de ser um grande amigo, tenho uma eterna gratidão na execução deste trabalho, seu auxílio foi imprescindível.

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal, Adinan, Gabriela, Luciana, Rodolfo, Yasmim, Gilberto, Hélio, Vanessa, Viviane, Priscila e Marília. Em especial, à Fábica, pela bela amizade que construímos e colaboração nas avaliações.

A todos os amigos, colegas e familiares, que direta e indiretamente contribuíram para que eu pudesse concluir este trabalho.

“ Tudo posso naquele que me fortalece”

(Filipenses 4:13)

BIOGRAFIA DA AUTORA

FÁTIMA MARQUES DE ALMEIDA MAIA, filha de Oiana Alcântara de Almeida (*in memoriam*) e Judite Marques de Almeida, nasceu no dia 10 de dezembro de 1981, na cidade de Itaberaí, Goiás.

Em março de 2000, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Universidade Estadual de Goiás, graduando – se em janeiro de 2004.

Em junho de 2006 iniciou no curso de pós-graduação em Educação Ambiental pela Universidade Cândido Mendes - RJ, e em dezembro de 2008 concluiu.

Em fevereiro de 2010, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, sob a orientação do Professor Alan Carlos Costa.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	1
2.1. <i>Local de estudo e condições de cultivo</i>	2
2.1.1. <i>Obtenção das mudas</i>	3
2.2. <i>Condições experimentais</i>	4
2.3. <i>Procedimento para a avaliação das plantas</i>	5
2.3.1. <i>Trocas gasosas</i>	5
2.3.2. <i>Fluorescência da clorofila a</i>	6
2.3.3. <i>Determinação do conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i>	6
2.3.4. <i>Relações hídricas</i>	7
2.3.5. <i>Características morfológicas e acúmulo de matéria seca</i>	7
2.4. <i>Análise Estatística</i>	8
3. RESULTADOS	8
3.1. <i>Trocas gasosas</i>	8

3.2. <i>Fluorescência da clorofila a</i>	8
3.3. <i>Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i>	12
3.4. <i>Relações hídricas</i>	13
3.4.1. <i>Potencial hídrico</i>	13
3.4.2. <i>Índice refratométrico</i>	14
3.5. <i>Características morfológicas e acúmulo de matéria seca</i>	15
4. DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÕES	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
ANEXO	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Plântulas de girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.) em cultivo hidropônico em fase de aclimatação sob sistema de aeração em casa de vegetação.	3
Figura 2 - Plantas de girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.) em cultivo hidropônico submetidas à salinidade sob sistema de aeração em casa de vegetação.	4
Figura 3 - Taxa fotossintética (A) (A), Condutância estomática (g_s) (B), Taxa transpiratória (E) (C) e Eficiência no uso da água (EUA) (D) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade dentro de cada cultivar é explicado pelo modelo quadrático em (A), modelo quadrático e linear em (C) e modelo quadrático e raiz quadrada em (D). Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$	9
Figura 4 - Relação entre a concentração interna e externa de CO ₂ (C_i/C_a) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963 submetidas às diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.	10
Figura 5 - Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas as diferentes concentrações de NaCl (mM) em solução de crescimento. Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.	10

Figura 6 - Eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Delta F/F_m'$) (A), Taxa de transporte de elétrons (ETR) (B) e Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ) (C) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobol 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) em solução de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear em (A), quadrático em (B) e raiz quadrático em (C) para a cultivar Aguará 4. Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ 11

Figura 7 - Clorofila *a* (Cl_a) (A), Clorofila *b* (Cl_b) (B), Carotenoides (C) e Clorofila total (Cl_t) (D) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobol 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear em (A), modelo quadrático em (B, C e D). Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$... 12

Figura 8 - Razão entre clorofila *a* e clorofila *b* (Cl_a/Cl_b) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobol 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) em meio de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear para a cultivar Aguará 4. Significância: ** $p < 0,01$ 13

Figura 9 - Potencial hídrico foliar em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobol 963 submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo raiz quadrada e modelo linear. Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ 14

Figura 10 - Índice refratométrico das folhas (A) e das raízes (B) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobol 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução de crescimento. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo raiz quadrada em (A) e quadrático em (B). Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ 15

Figura 11 - Número de folhas (A) e número de nós (B) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl em meio de crescimento. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo quadrático. Significância: $*p < 0,05$ 16

Figura 12 - Área foliar específica (AFE), Razão área foliar (RAF) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl em meio de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo raiz quadrada em (A) e modelo linear e quadrático em (B) . Significância: $**p < 0,01$ 16

Figura 13 - Número de folhas (A) e número de nós (B) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas às diferentes concentrações de NaCl em meio de crescimento. Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade. 17

Figura 14 - Área foliar (AF), matéria seca parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) em meio de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear em (A), modelo raiz quadrada e quadrático em (B), modelo quadrático em (C) e modelo raiz quadrada e quadrático em (D). Significância: $*p < 0,05$; $**p < 0,01$ 17

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

$\Delta F/F_m'$	Rendimento quântico efetivo do FSII
A	Taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
AF	Área foliar (cm^2)
AFE	Área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
CaCO_3	Carbonato de cálcio
C_i/C_a	Relação entre a concentração interna e ambiente de CO_2
Cl_a	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
Cl_b	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
Cl_t	Clorofilas totais ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
DFF	Densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
DMSO	Dimetilsulfóxido
E	Taxa transpiratória ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
ETR	Taxa relativa de transporte de elétrons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
EUA	Eficiência do uso da água
F_o	Fluorescência mínima
FS I	Fotossistema I
FS II	Fotossistema II
F_m	Fluorescência máxima
F_v	Fluorescência variável
F_v/F_m	Rendimento quântico máximo do fotossistema II
g_s	Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
HCl	Ácido clorídrico
IR	Índice refratométrico
MSPA	Matéria seca da parte aérea (g)

MSR.....	Matéria seca da raiz (g)
MST.....	Matéria seca total (g)
NaCl	Cloreto de sódio
NaOH.....	Hidróxido de sódio
NPQ	Coefficiente de extinção não fotoquímica
qP	Coefficiente de extinção fotoquímica
RAF.....	Razão área foliar
Ψ_s	Potencial osmótico (MPa)
Ψ_w	Potencial hídrico (MPa)

RESUMO

MAIA, M. A. Fátima, M.Sc., Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2012. Respostas fotossintéticas e relações hídricas de cultivares de girassol submetidas à salinidade. Orientador: Dr. Alan Carlos Costa. Coorientadores: Dra. Clarice Aparecida Megguer e Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares.

A avaliação das respostas fotossintéticas em plantas fornece informações para compreender os processos fisiológicos, envolvidos nos mecanismos de tolerância e susceptibilidade à salinidade em cultivares de girassol. Objetivou-se neste estudo avaliar as respostas fotossintéticas em duas cultivares de girassol, Agrobél 963 e Aguará 4, submetidas a diferentes concentrações salinas. O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com arranjo fatorial 2 x 5, sendo duas cultivares de girassol (Agrobél 963 e Aguará 4) e cinco concentrações de sal (0, 25, 50, 100 e 150 mM de NaCl) na solução nutritiva, com cinco repetições. Foram realizadas avaliações de trocas gasosas, relações hídricas, fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de pigmentos cloroplastídicos, características de crescimento e de matéria seca. Os resultados obtidos nas avaliações de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e conteúdo de pigmentos cloroplastídicos demonstram que as duas cultivares de girassol mantêm o aparato fotossintético funcional mesmo na maior concentração (150 mM) de NaCl. No entanto, na avaliação de trocas gasosas, a cultivar Aguará 4 foi mais tolerante que a cultivar Agrobél 963, por conseguir reduzir a taxa transpiratória e obter maior eficiência do uso da água em condições de salinidade. A redução do potencial hídrico foliar e o acréscimo do índice refratométrico das folhas e das raízes em função ao aumento da salinidade na solução nutritiva, favoreceu a absorção de água pela planta. Mesmo mantendo a atividade fisiológica funcional, a maior concentração de NaCl (150 mM) promoveu redução nas características de crescimento e de acúmulo de matéria seca em ambas as cultivares.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L., trocas gasosas, fluorescência, salinidade.

ABSTRACT

MAIA, M.A. Fátima, M.Sc., Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO, 2012. Photosynthetic responses and water relations of sunflower cultivars submitted to salinity. Advisor: DSc Alan Carlos Costa. Co-advisors: DSc Clarice Aparecida Megguer and DSc Frederico Antônio Loureiro Soares.

Evaluation of photosynthetic behavior provides information to understand the physiological processes involved in the mechanisms of tolerance and susceptibility to salinity in sunflower crop. This study aimed to evaluate the photosynthetic behavior in two cultivars of sunflower, Agrobél 963 and Aguará 4, submitted to different salt concentrations. The experiment was carried out in randomized blocks with factorial arrangement 2 x 5, being two sunflower's cultivars and five salt concentration (0, 25, 50, 100 and 150 mM NaCl) on nutritive solution. Were evaluated gas exchange, water relations, chlorophyll *a* fluorescence, content of chloroplastidic pigment, growth features and dry matter. The results obtained in the gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence and content of chloroplastidic pigments show that the two cultivars of sunflower keep the photosynthetic apparatus functional even at the highest concentration (150 mM NaCl). However, in the evaluation of gas exchange, the cultivar Aguará 4 was more tolerant than cultivar Agrobél 963, by reducing the transpiration rate and using water more efficiently under conditions of salinity. The reduction in the water potential of leaves and the increase of the refratometric index in leaves and roots, in function of the increase in salinity, in nutritive solution, favored the water absorption by plant. Even maintaining the functional physiological activity, the highest concentration of NaCl (150 mM) promoted a reduction in growth features and dry matter accumulation for both cultivars.

Key words: *Helianthus annuus* L., gas exchange, fluorescence, salinity.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura na região centro-oeste brasileira se destaca pela produção de grãos e, nos últimos anos, lavouras de cana-de-açúcar foram implantadas em grande escala nas áreas agricultáveis desta região. Este aumento se deve basicamente ao incentivo à produção do álcool como combustível pelo Programa Nacional do Álcool (Proálcool) (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Concomitante ao aumento da produção de cana está à produção de vinhaça, que é subproduto da produção de álcool. A vinhaça está sendo utilizada na irrigação como fertilizante, mas se aplicada em excesso pode promover danos às culturas de interesse comercial por causa do desequilíbrio nutricional e saturação de bases, culminando com a salinização do solo (LELIS NETO, 2008). A intensidade da salinização, no entanto, depende do tipo e das características físico-químicas de cada solo.

A salinidade é um dos estresses abióticos que induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo que, podem ser reversíveis a princípio, ou se tornarem irreversíveis sob condições extremas (LARCHER, 2004). O excesso de sais pode ser nocivo às plantas em função do efeito osmótico, que acarreta dificuldade na absorção de água, ou ainda, pelo efeito iônico que está associado à toxicidade de íons específicos (DIAS & BLANCO, 2010).

O efeito provocado pela salinidade gera o estresse osmótico, perturbando as relações hídricas, com redução no crescimento, na área foliar e na produção de matéria seca (HUSSAIN et al., 2012). Os efeitos iônicos promovidos, sobretudo pelo Na⁺, são verificados quando este íon se acumula nos tecidos da planta e provoca desequilíbrio nutricional, toxidez e alterações no metabolismo (MUNNS & TESTER, 2008; SILVA et al., 2009).

A taxa fotossintética também é afetada pela salinidade e, pode ocorrer provavelmente em resposta ao fechamento estomático, mediado por hormônios, por alterações fotoquímicas e no metabolismo do carbono (CHAVES et al., 2009).

De acordo com o incremento da salinidade ocorrem alterações no crescimento de plantas, sendo mais afetada a área foliar. Segundo Steduto et al., (2000) a área foliar é o mecanismo mais importante para evitar o estresse em plantas de girassol. Essa resposta sugere uma estratégia para reduzir a transpiração e, conseqüente, perda de água pela planta. Alterações morfológicas, anatômicas e metabólicas em plantas de girassol, dependem do genótipo e da quantidade de sais na planta (SILVA et al., 2009).

Sabe-se, no entanto, que algumas plantas tem a capacidade de impedir a entrada ou minimizar a concentração de sais no citoplasma, via compartimentalização nos vacúolos, evitando assim os efeitos tóxicos dos sais na fotossíntese e em outros processos metabólicos (CHAVES et al., 2009). As diferenças nos mecanismos de tolerância, no entanto, podem ocorrer entre espécies ou entre cultivares de uma mesma espécie.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma espécie originária do sudoeste dos Estados Unidos e norte do México (ROSSI, 1998), sendo uma cultura com grande potencial oleaginoso e de relevante importância econômica e agrônômica. Destaca-se por ser bastante resistente à seca, ao frio e ao calor, além de se adaptar a diferentes condições edafoclimáticas (GOMES et al., 2006). Porém, quanto à salinidade alguns cultivares de girassol são tolerantes e outros sensíveis.

Assim, compreender os processos fisiológicos e, morfológicos, envolvidos nos mecanismos de tolerância e susceptibilidade à salinidade, como as trocas gasosas, as relações hídricas e o crescimento de plantas de girassol, é de grande importância para elucidar os mecanismos envolvidos quanto à tolerância ao sal e, a sua utilização em solos salinos. Desta forma, objetivou-se com este estudo avaliar as respostas das trocas gasosas, as relações hídricas e as características do crescimento em duas cultivares de girassol, Agrobél 963 e Aguará 4, submetidas às diferentes concentrações salinas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo e condições de cultivo

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Laboratório de Ecosifisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (17°48' S e 50°54' O).

O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com arranjo fatorial 2 x 5, sendo duas cultivares de girassol (Agrobel 963 e Aguará 4) e cinco concentrações de sal na solução Hoagland & Arnon, (1950), sendo: 0, 25, 50, 100 e 150 mM de NaCl (Dinâmica[®], 99,5% de pureza), com cinco repetições. Cada repetição foi constituída por uma caixa de isopor com duas plantas.

2.1.1. Obtenção das mudas

As sementes de girassol foram germinadas em substrato comercial Bioplant[®], em bandejas de poliestireno expandido, em casa de vegetação. Aos 15 dias após a germinação, mudas saudáveis e uniformes foram selecionadas e transferidas para bandejas contendo solução nutritiva de Hoagland & Arnon, (1950), com ¼ da força iônica (Figura 1).



Figura 1- Plântulas de girassol (*Helianthus annuus* L.) em cultivo hidropônico em fase de aclimação sob sistema de aeração em casa de vegetação.

2.1.2. Aclimação das plantas

As plantas foram aclimatadas em bandejas contendo ¼ da força iônica da solução de Hoagland & Arnon, (1950) conforme descrito no item anterior. Após 48 horas e 96 horas as plantas foram submetidas à ½ força iônica e força completa, respectivamente. Aos seis dias após a aclimação foram transferidas para caixas de

isopor contendo 2,5 L de solução nutritiva de Hoagland & Arnon, (1950), força iônica completa, sob sistema de aeração intercalada a cada 15 minutos (Figura 2).



Figura 2 - Plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) em cultivo hidropônico submetidas à salinidade sob sistema de aeração em casa de vegetação.

O período de aclimação foi determinado a partir de estudos preliminares para a certificação de que as plantas, no momento da imposição dos tratamentos, não apresentariam sintomas de deficiência nutricional que pudesse interferir na condução do experimento.

2.2. Condições experimentais

A imposição dos tratamentos foi iniciada seis dias após a aclimação das plantas à força completa. As concentrações salinas foram impostas gradativamente a cada 24 horas até atingir a concentração desejada (150 mM). Ou seja, às 24, 48, 72 e 96 horas, foram adicionados a solução nutritiva nas seguintes concentrações de NaCl: 25, 50, 100 e 150 mM, respectivamente. A imposição gradual dos tratamentos, com base em estudos preliminares, ocorreu para permitir a aclimatização das plantas e prevenir a fitotoxicidade ou morte prematura das plantas.

O volume da solução foi monitorado diariamente e, quando necessário, adicionada água deionizada até completar o volume final de 2,5 L. A estabilidade da solução foi monitorada, a cada 48 horas, por meio da condutividade elétrica (CE) mediante medições da condutividade elétrica utilizando um condutivímetro CD-850 (Instrutherm, Brasil) e do pH utilizando um pHmetro 221 (Lutron, Taiwan). O pH da

solução foi mantido em torno de $6,0 \pm 0,05$ e, quando necessário, correções foram realizadas utilizando soluções 0,1 N de HCl e 0,1 N de NaOH. A CE foi mantida em valores superiores a 25% da CE inicial, sendo a solução nutritiva renovada semanalmente.

O experimento foi conduzido durante 47 dias após a germinação das sementes, ou seja, 26 dias após a imposição dos tratamentos. Neste período as plantas foram avaliadas quanto às trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de pigmentos cloroplastídicos, relações hídricas, características morfológicas e acúmulo de matéria seca. Os procedimentos para as avaliações acima citadas estão detalhados a seguir.

2.3. Procedimento para a avaliação das plantas

As avaliações das características das trocas gasosas, da fluorescência da clorofila *a*, foram determinadas em folhas completamente expandidas da região mediana, ou seja, folhas inseridas no terceiro nó a partir do ápice da planta.

As medições de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram realizadas aos 9, 11, 14, 18 e 26 dias após a imposição dos tratamentos, excluindo as medições do dia 18 para o atributo fluorescência de clorofila *a*. No encerramento do experimento, aos 26 dias após o início dos tratamentos, foi determinado o potencial hídrico, o índice refratométrico, o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos, as características morfológicas e o acúmulo de matéria seca.

2.3.1. Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas ocorreram sempre no horário entre as 07h00min e às 11h00min. Nestas avaliações foram registradas a taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a taxa transpiratória (E , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e a relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a). Estas avaliações foram realizadas utilizando um sistema portátil de fotossíntese equipado com uma fonte de luz LCI Light Systems (ADC Bioscientific, Herts, England), a qual consiste de um suporte com ventilação contendo uma lâmpada halógena dicróica de 20 W, incidindo uma densidade de fluxo de fótons igual a $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2.3.2. *Fluorescência da clorofila a*

As determinações da fluorescência da clorofila *a*, em cada dia de avaliação, ocorreram sempre no horário entre as 08h00min e às 11h00min. As medições foram avaliadas utilizando um fluorômetro portátil modulado, modelo MINI-PAM (Walz, Effeltrich, Germany), equipado com uma pinça especial para suporte da folha modelo 2030-B (BILGER et al., 1995; RASCHER et al., 2000). Foram determinadas a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m), o rendimento quântico máximo do FS II ($F_v/F_m = \text{Fluorescência variável}/\text{Fluorescência máxima}$), o rendimento quântico efetivo ($\Delta F/F_m'$), a dissipação fotoquímica (q_p), a dissipação não fotoquímica (NPQ) e a taxa de transporte de elétrons (ETR).

O rendimento quântico máximo do FS II (van KOOTEN & SNEL, 1990) foi calculado após 30 minutos de aclimação ao escuro utilizando a equação $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$, em que F_0 é o rendimento da fluorescência mínima, excitado por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ($0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e F_m é a fluorescência máxima obtida pela aplicação de um pulso de 0,8s de luz actínica saturante ($>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (GENTY et al., 1989) foi determinado por meio de um pulso de saturação em folhas previamente expostas à luz ambiente por 20 minutos, sendo calculado como $\Delta F/F_m' = (F_m' - F) / F_m'$, em que F_m' é o rendimento da fluorescência máxima durante o pulso de saturação. O $\Delta F/F_m'$ foi utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) de acordo com Bilger et al., (1995), mediante o uso da equação $\text{ETR} = \Delta F/F_m' \times \text{DFF} \times 0,5 \times 0,84$, em que DFF é a densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) incidente sobre a folha; 0,5 é o valor correspondente à fração da energia de excitação distribuída para o FSII (LAISK & LORETO, 1996); e 0,84 é o valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas (EHLEINGER, 1981). O coeficiente de extinção não fotoquímica de Stern-Volmer foi calculado como $\text{NPQ} = (F_m - F_m') / F_m'$ (BILGER & BJORKMAN, 1990).

2.3.3. *Determinação do conteúdo de pigmentos cloroplastídicos*

O conteúdo de pigmentos cloroplastídicos foi determinado por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO) mediante ajustes da metodologia descrita por

Kuki et al., (2005). Três discos foliares, de folhas completamente expandidas, com 5 mm de diâmetro foram incubados em tubos vedados e envolvidos com papel alumínio contendo 5 mL de DMSO saturado com CaCO_3 , por um período de 24 horas a 65°C . A determinação da absorvância do extrato foi efetuada após este período por meio de um espectrofotômetro UV – VIS, modelo Evolution 60S (Thermo Fisher Scientific, Madison – USA). Os comprimentos de onda, as equações e os cálculos para a determinação do conteúdo de clorofilas *a*, *b* e carotenoides foram baseados na metodologia de Welburn (1994).

2.3.4. Relações hídricas

Folhas completamente expandidas inseridas no terceiro nó a partir do ápice da planta foram coletadas no período da antemanhã, entre 4h00min e 6h00min, e imediatamente colocadas em sacos plásticos e acondicionadas em caixa de isopor. No laboratório, procederam as determinações de potencial hídrico (Ψ_w) utilizando uma câmara de pressão do tipo Scholander.

Para a avaliação do índice refratométrico (IR), as folhas e as raízes foram coletadas e lavadas com água deionizada para impedir a interferência dos sais do meio de cultivo nos resultados da avaliação. Após a lavagem, folhas e raízes foram previamente acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em freezer (-18°C), objetivando maior facilidade de extração. Para a extração do suco celular das folhas ainda congeladas, utilizou-se uma prensa manual de inox. As determinações do índice refratométrico da folha e da raiz foram efetuadas utilizando um refratômetro manual (Abbe Atago, Japão).

2.3.5. Características morfológicas e acúmulo de matéria seca

As características de crescimento foram avaliadas, mediante a contagem do número de folhas e número de nós, determinação da área foliar, matéria seca da parte aérea, matéria seca de raiz, da matéria seca total, área foliar específica e razão área foliar. Para a obtenção da massa da matéria seca, expressa em g planta^{-1} , o material coletado foi seco em estufa de circulação de ar, a 65°C , até atingir peso constante. A área foliar foi determinada em cm^2 , mediante a integração da imagem digital das folhas

por meio de um software. A área foliar específica (AFE) e a razão área foliar (RAF) foram calculadas empregando as equações: $AFE = AF/MSF$ e $RAF = AF/MST$, respectivamente.

2.4. Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias das cultivares comparadas entre si pelo Teste de F. Quando necessário, foram ajustados modelos de regressão aos níveis de concentrações de NaCl, usando o programa SAEG 9.1 (UFV, Viçosa, Brasil).

3. RESULTADOS

3.1. Trocas gasosas

A análise de variância demonstrou efeito significativo nas fontes de variação cultivar, concentrações salinas e na interação entre estes dois fatores para todas as características das trocas gasosas, exceto para a g_s .

Para a cultivar Agrobrel 963 foi observado maiores valores na A (Figura 3A) e E (Figura 3C) e menores valores na EUA (Figura 3D), em relação a cultivar Aguará 4. O aumento na concentração de NaCl promoveu uma redução nos valores de A (Figura 3A) e E (Figura 3C) e um incremento na EUA (Figura 3D) da cultivar Aguará 4.

Não foi observada alterações na Ci/Ca em função do aumento da salinidade no meio de cultivo, diferença significativa ocorreu apenas entre as cultivares, em que a cultivar Aguará 4 demonstrou os maiores valores desta relação (Figura 4).

3.2. Fluorescência da clorofila a

As variáveis $\Delta F/F_m'$, ETR e NPQ, segundo a ANOVA, sofreram efeito da interação entre as fontes de variação cultivar e concentração de NaCl. Porém a razão F_v/F_m foi afetada apenas pelo efeito isolado da cultivar

Os valores para a razão F_v/F_m foram de 0,83 e 0,84 para a cultivar Aguará 4 e Agrobrel 963, respectivamente (Figura 5).

O $\Delta F/F_m'$ (Figura 6A), a ETR (Figura 6B) e o NPQ (Figura 6C), para a cultivar Aguará 4, tiveram um aumento significativo em função das diferentes concentrações de NaCl. O mesmo não sendo observado para a cultivar Agrobrel 963, em que os valores permaneceram praticamente constantes. O NPQ foi a variável que teve efeito mais pronunciado entre as cultivares nas concentrações de 100 e 150 mM, sendo os maiores valores observados para a cultivar Aguará 4 (Figura 6C).

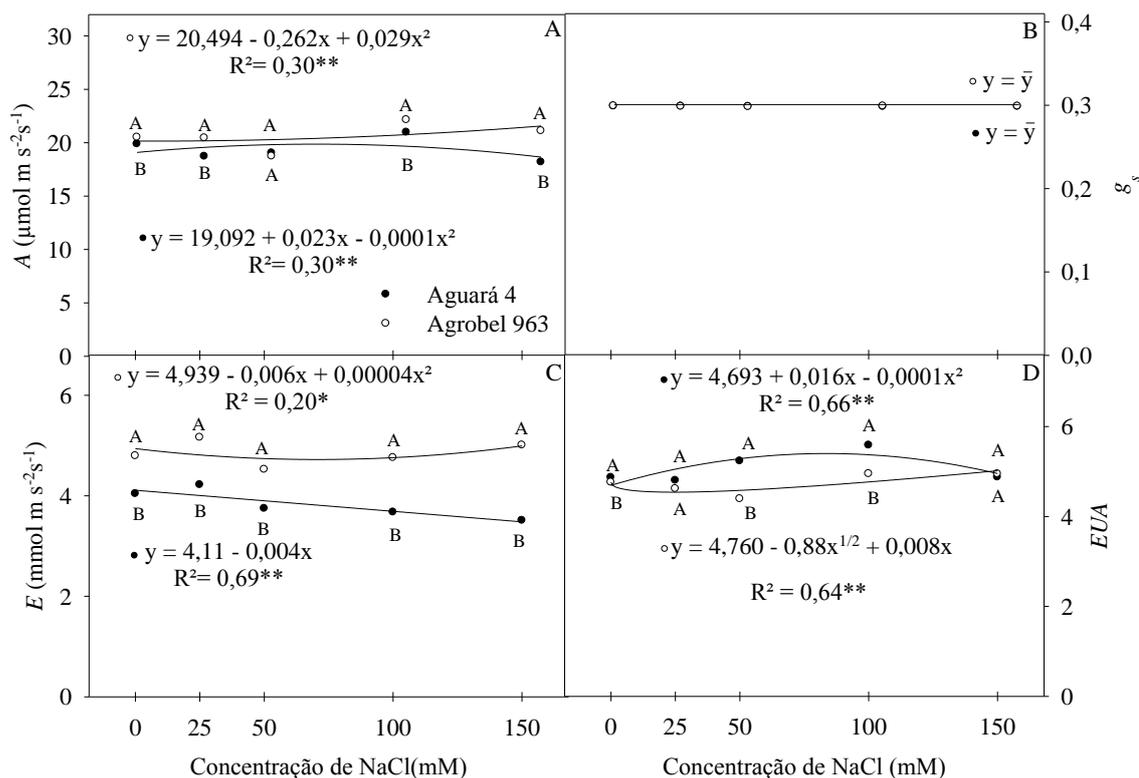


Figura 3 - Taxa fotossintética (A) (A), Condutância estomática (g_s) (B), Taxa transpiratória (E) (C) e Eficiência no uso da água (EUA) (D) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. As letras maiúsculas no interior da figura representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade dentro de cada cultivar é explicado pelo modelo quadrático em (A), modelo quadrático e linear em (C) e modelo quadrático e raiz quadrada em (D). Significância: $*p < 0,05$; $**p < 0,01$.

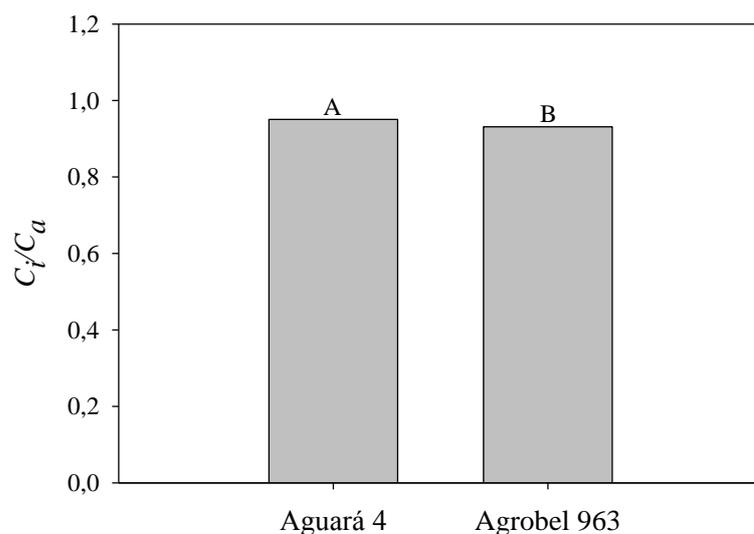


Figura 4 - Relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobél 963 submetidas às diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

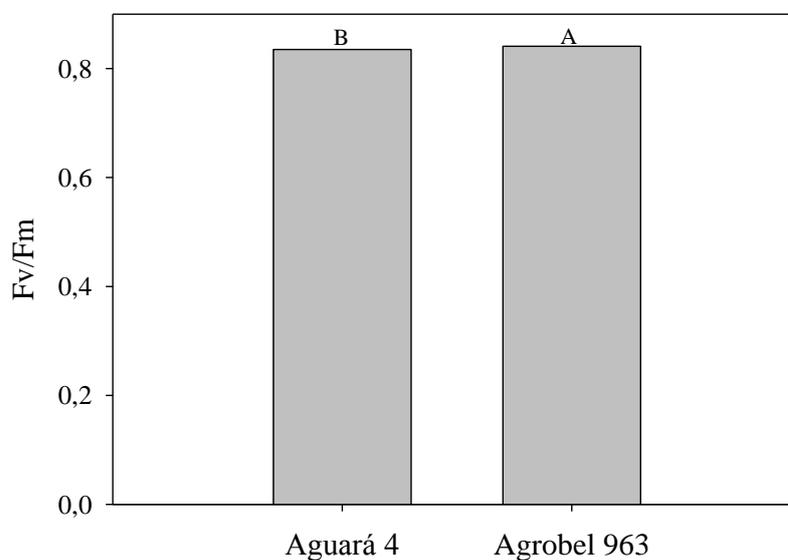


Figura 5 - Eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobél 963, submetidas as diferentes concentrações de NaCl (mM) em solução de crescimento. Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

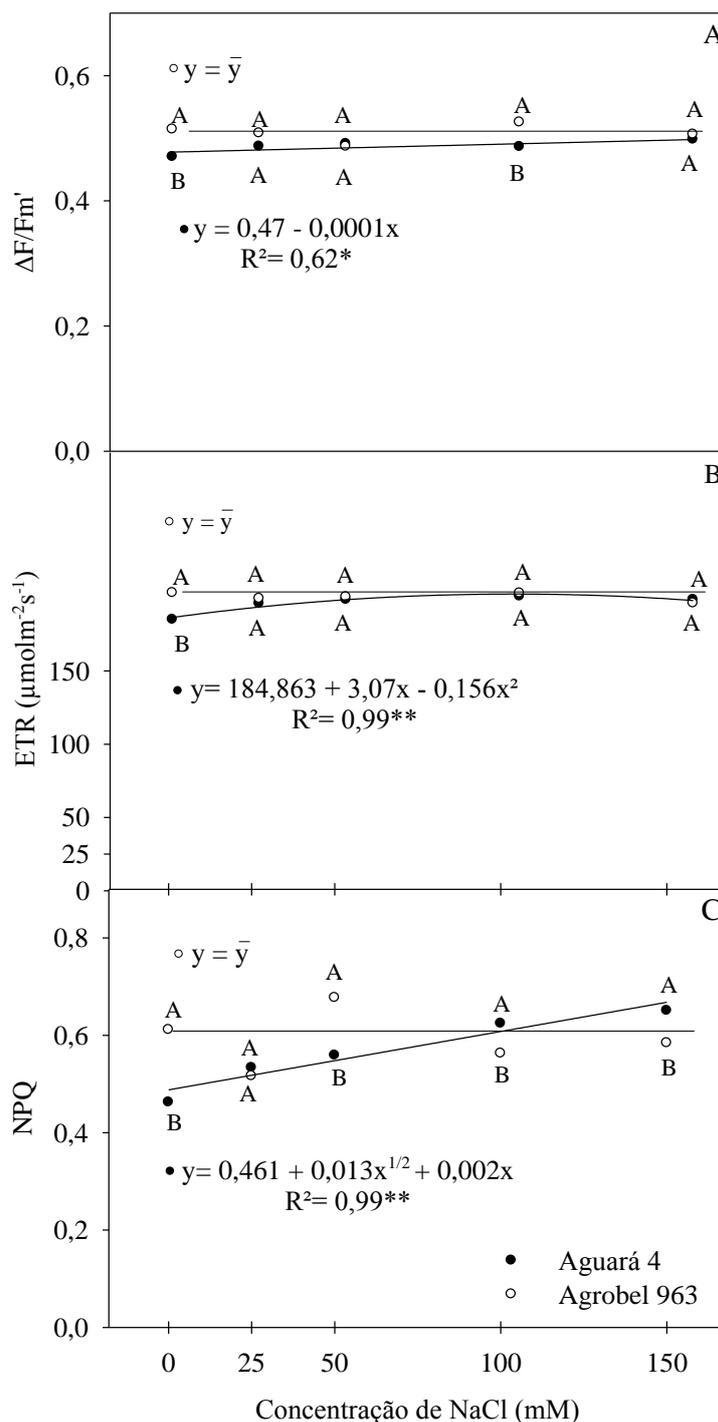


Figura 6 - Eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Delta F/Fm'$) (A), Taxa de transporte de elétrons (ETR) (B) e Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ) (C) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobela 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) em solução de crescimento. Para cada dose testada, as letras maiúsculas diferentes no interior da figura, representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear em (A), quadrático em (B) e raiz quadrático em (C) para a cultivar Aguará 4. Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

3.3. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos

O resumo da análise de variância demonstra que houve efeito da interação entre cultivar e concentração salina sobre as variáveis Cla, Clb, carotenoides, CLt e razão Cla/Clb.

O incremento na concentração de NaCl promoveu um aumento significativo no conteúdo de Cla (Figura 7A), Clb (Figura 7B), carotenoides (Figura 7C), e Clt (Figura 7D) nas plantas da cultivar Aguará 4. Já para a cultivar Agrobrel 963, não foram observadas alterações significativas nas mesmas condições (Figura 7), exceto para a variável Clb que teve uma redução seguida de um leve aumento na maior concentração de NaCl (Figura 7B). Redução significativa foi observada na razão Cla/Clb apenas em plantas da cultivar Aguará 4 (Figura 8).

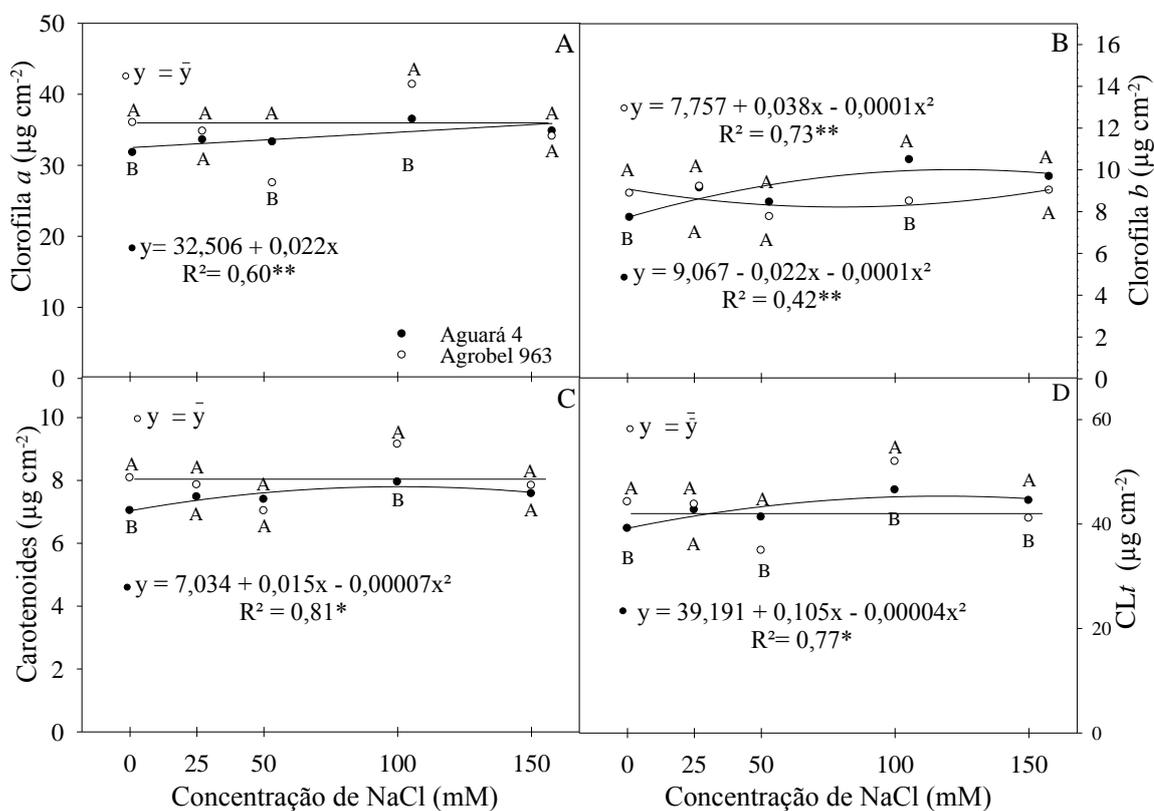


Figura 7 - Clorofila a (Cla) (A), Clorofila b (Clb) (B), Carotenoides (C) e Clorofila total (Clt) (D) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. Para cada dose testada, as letras maiúsculas diferentes no interior da figura, representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear em (A), modelo quadrático em (B, C e D). Significância: $*p < 0,05$; $**p < 0,01$.

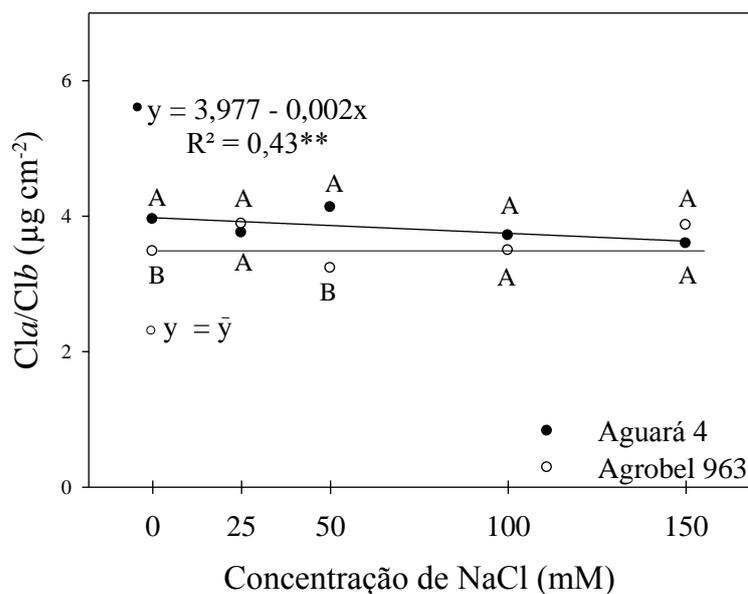


Figura 8 - Razão entre clorofila *a* e clorofila *b* (Cl_a/Cl_b) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobet 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) em meio de crescimento. Para cada dose testada, as letras maiúsculas diferentes no interior da figura, representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear para a cultivar Aguará 4. Significância: $**p < 0,01$.

3.4. Relações hídricas

3.4.1. Potencial hídrico

De acordo com os dados da análise de variância para potencial hídrico foliar, observou-se que não houve diferença significativa entre as cultivares em estudo, sendo verificado somente efeito da concentração e da interação entre cultivar e concentração de NaCl na solução.

O potencial hídrico, tanto da Aguará 4 quanto da Agrobet 963, diminuiu em função do aumento da salinidade no meio de crescimento, sobretudo na maior concentração de NaCl. Em relação às plantas controle, observou-se redução de até 47,75% em Aguará 4 e até 20,0% em Agrobet 963 (Figura 9).

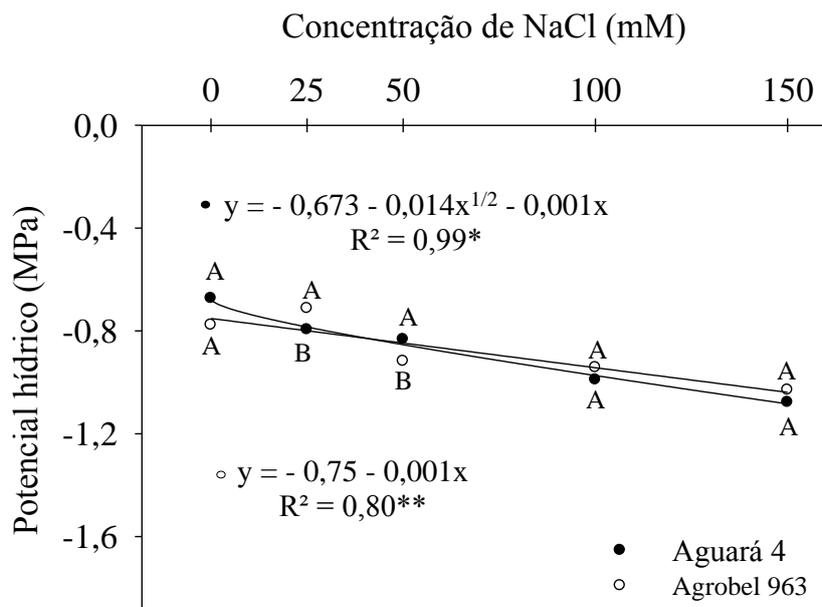


Figura 9 - Potencial hídrico foliar em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963 submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) na solução de crescimento. Para cada dose testada, as letras maiúsculas diferentes no interior da figura, representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo raiz quadrada para cultivar Aguará 4 e modelo linear para cultivar Agrobrel 963. Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

3.4.2. Índice refratométrico

O quadro da análise de variância para índice refratométrico da folha e da raiz demonstra que houve efeito significativo somente na concentração de NaCl independente da cultivar

O índice refratométrico, tanto da folha quanto da raiz, aumentou em função do aumento da concentração de NaCl (Figura 10A e B). Representando um acréscimo de 101,84% na folha (Figura 10A) e 34,6% na raiz (Figura 10B) na concentração de 150 mM em relação às plantas controle.

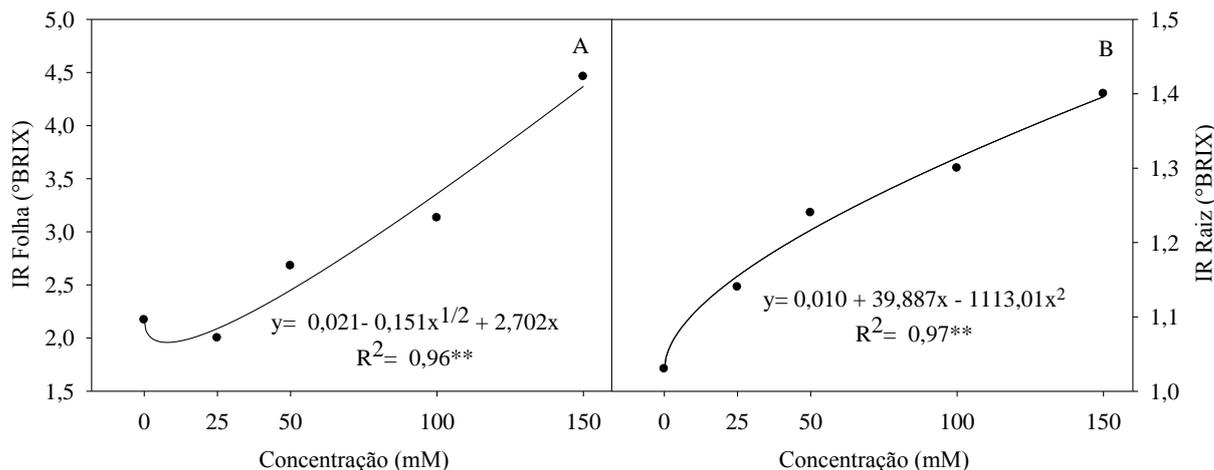


Figura 10 - Índice refratométrico das folhas (A) e da raiz (B) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução de crescimento.. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo raiz quadrada em (A) e quadrático em (B). Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

3.5. Características morfológicas e acúmulo de matéria seca

As características morfológicas e o acúmulo de matéria seca foram influenciados pelas fontes de variação cultivar, concentração e interação entre cultivar e concentração de NaCl. A exceção ocorreu para exceto a área foliar que sofreu alterações apenas em função do efeito isolado da cultivar.

O aumento da concentração de NaCl na solução, independente da cultivar, reduziu significativamente o número de folhas (Figura 11A) e número de nós (Figura 11B). Ao avaliar o efeito isolado da cultivar, nesta mesma característica, verificou-se redução mais expressiva para a cultivar Agrobrel 963 (Figura 13 A e B).

A RAF (Figura 12A), AFE (Figura 12B), AF (Figura 14A), e MSR (Figura 14C), das plantas de ambas as cultivares, diminuíram drasticamente em função do aumento das concentrações de NaCl em solução. Comportamento semelhante foi observado na MSPA (Figura 14B) e MST (Figura 14D) das plantas da cultivar Agrobrel 963. No entanto, concentrações baixas de NaCl ($\leq 0,25\text{mM}$) estimularam significativamente o aumento da MSPA (Figura 14B) e MST (Figura 14D) de plantas da cultivar Aguará 4.

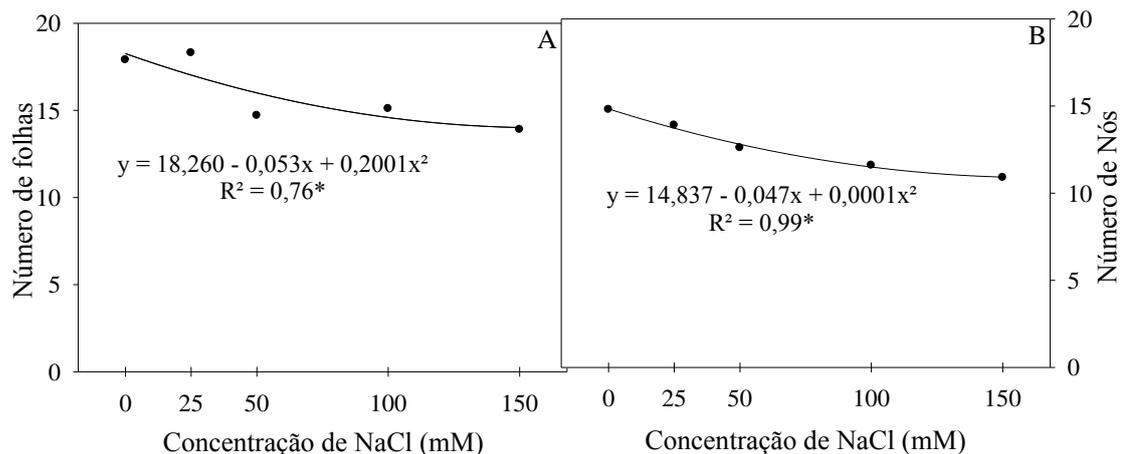


Figura 11 - Número de folhas (A) e número de nós (B) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl em meio de crescimento. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo quadrático. Significância: $*p < 0,05$.

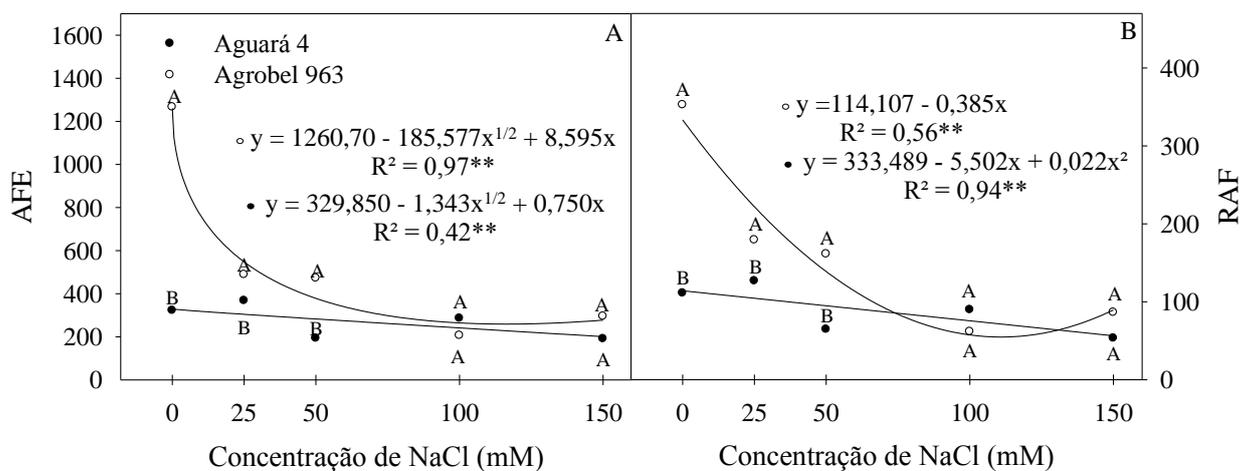


Figura 12 - Área foliar específica (AFE), Razão área foliar (RAF) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl em meio de crescimento. Para cada dose testada, as letras maiúsculas diferentes no interior da figura, representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo raiz quadrada em (A) e modelo linear e quadrático em (B). Significância: $**p < 0,01$.

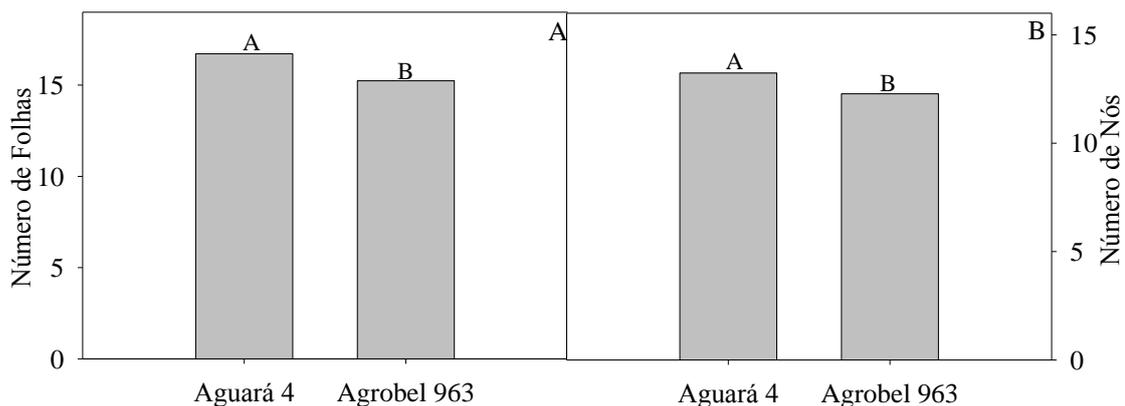


Figura 13 - Número de folhas (A) e número de nós (B) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas às diferentes concentrações de NaCl em meio de crescimento. Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

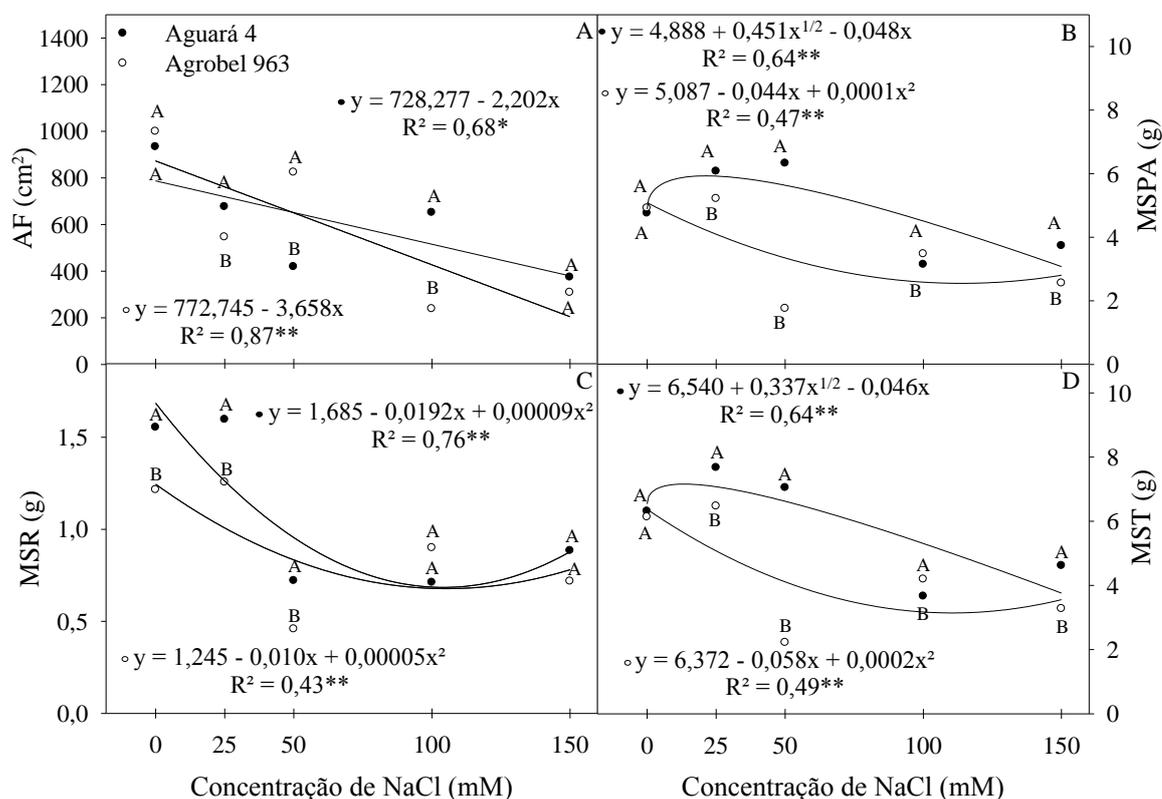


Figura 14 - Área foliar (AF), matéria seca parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) em plantas de girassol das cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, submetidas a diferentes concentrações de NaCl (mM) em meio de crescimento. Para cada dose testada, as letras maiúsculas diferentes no interior da figura, representam a diferença estatística entre cultivares, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito da salinidade é explicado pelo modelo linear em (A), modelo raiz quadrada e quadrático em (B), modelo quadrático em (C) e modelo raiz quadrada e quadrático em (D). Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

4. DISCUSSÃO

As características de crescimento do presente estudo, como AF, AFE, RAF, MSPA, MST e MSR das plantas, de ambas as cultivares, sofreram redução com o incremento nas concentrações de NaCl na solução. A redução no crescimento é um dos mais frequentes sintomas observados em plantas cultivadas em ambientes salinos e tem sido bem documentada para pinhão manso (SILVA et al., 2009) e algumas cultivares de girassol (STEDUTO et al., 2000; HUSSAIN et al., 2012). Alterações no crescimento de plantas podem ocorrer como uma resposta rápida em virtude do aumento externo da pressão osmótica e uma resposta lenta, pelo acúmulo de Na^+ nas folhas (MUNNS & TESTER, 2008).

O acréscimo relativo da AFE para a cultivar Aguará 4, com base na equação de regressão (Figura 9), foi de 3,7% para a concentração de 25 mM de NaCl em relação as plantas controle. Para a cultivar Agrobrel 963, efeito contrário foi verificado, ou seja, uma redução na AFE de 56,6% quando as plantas foram submetidas a concentração de 25 mM em relação à solução de 0 mM de NaCl, atingindo redução de 78,0% na concentração de 150 mM de NaCl. A RAF da cultivar Aguará 4 diminuiu exponencialmente, sendo 3,4%, para cada dez unidade de aumento de NaCl, a partir do tratamento controle. Para a cultivar Agrobrel 963, comparando a solução de 25, 50, 100 e 150 mM de NaCl com o controle, verifica-se um decréscimo de 37,1; 66,0; 99,0 e 99,0%, respectivamente.

O efeito depreciativo das concentrações de NaCl na solução sobre a AF foi linear e segundo a equação obtida, o decréscimo relativo da AF foi de 3,0 e 4,7%, para cada aumento de 10 mM de NaCl na solução, para as cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, respectivamente. Neste estudo a redução da AF pode estar relacionada a um mecanismo de adaptação a salinidade que permite a conservação de água pela redução da área transpiratória. A diminuição da área foliar tem sido observada em resposta de várias espécies de plantas submetidas a crescentes concentrações de NaCl (MEDEIROS, et al., 2012; ARAÚJO, et al, 2010; NETO & TABOSA, 2000).

Os menores valores de MSR foram registrados para as concentrações estimadas de 106,7 e 100 mM de NaCl na solução para as cultivares Aguará 4 e Agrobrel 963, respectivamente.

Para a cultivar Aguará 4, comportamento semelhante foi verificado para MSPA e MST com um acréscimo até a concentração de 22 mM e 13 mM, respectivamente.

Sendo assim decréscimos nestas características foram verificadas a partir das concentrações acima citadas. Já na cultivar Agrobél 963, comportamento quadrático foi verificado para a MSPA e MST com redução na maior concentração em relação às plantas controle de 85,5% e 66%, respectivamente. Redução na MSPA também foram observadas por Júnior et al., (2011) e Nobre et al., (2010) em plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações salinas, com decréscimos de 83 (CE de 9,0 dS m⁻¹) e 55% (CE de 4,9 dS m⁻¹), respectivamente.

Segundo Nobre et al., (2010) a produção de matéria seca das plantas é afetada pela salinidade pela redução da disponibilidade hídrica provocada pela elevada concentração de sais na zona radicular. Portanto, esses decréscimos podem estar associados ao estresse osmótico, ocasionado pelo aumento de solutos na solução, dificultando assim, a absorção de água pela planta. O acréscimo de solutos também promoveu redução ψ_w foliar e aumento do IR do suco celular das folhas e das raízes. Na medida em que o conteúdo de água decresce, há uma redução da pressão de turgor, ocasionando redução do número de células em processo de alongação e consequente redução do crescimento (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Sendo assim, os resultados demonstram que as cultivares de girassol, Aguará 4 e Agrobél 963, realizaram um possível ajustamento osmótico, acumulando solutos compatíveis no interior da célula, mediante ao aumento nos valores do IR e consequentemente redução do ψ_w . Este fato promoveu a manutenção do gradiente de ψ_w entre o meio e o interior da planta (TAIZ & ZEIGER, 2002; SOUSA, 2006). Acréscimos nos valores de IR também foram verificados por Queiroz e Büll, (2001) em plantas de algodão em até 24 dSm⁻¹ da salinidade do solo.

O aumento na concentração de NaCl, no presente trabalho, promoveu redução nos valores da RAF, indicando que a maior parte dos fotoassimilados não foram destinados a área foliar. Resultados semelhantes a este estudo foi encontrado por Garcia et al., (2010) em genótipos de feijoeiro em concentrações crescentes de salinidade. Para Silva et al., (2009), um aumento da RAF foi verificado somente no início da cultura de girassol ornamental, sendo que após esse período também foi verificado declínio para esta mesma característica.

Os menores valores de AFE observados em ambas as cultivares neste estudo, indicam maior investimento em espessura que em expansão foliar. Resultados semelhantes foram verificados por Silva et al., (2009), em folhas das plantas de girassol

ornamental submetidas a $6,5 \text{ dSm}^{-1}$ de CE de fertirrigação e Porto Filho et al., (2006) em trabalhos com meloeiro à $4,5 \text{ dSm}^{-1}$ de CE.

A redução da AFE no presente estudo ocorreu por causa do efeito mais severo na AF que na matéria seca da folha, conforme também constatado por Porto Filho et al., (2006). Portanto, ambas as cultivares, tiveram o crescimento afetado negativamente pela salinidade, sendo que a redução da área foliar diminui a superfície de transpiração e a área foliar útil para a fotossíntese quando comparadas com as plantas controle, assim como a produção de matéria seca. Desta forma, plantas do tratamento controle, nas duas cultivares, tiveram maior crescimento provavelmente pela maior pressão de turgor, do que as plantas submetidas às elevadas concentrações de NaCl.

Outro fato que confirma esses resultados são os dados do IR, tanto da folha quanto da raiz, em que o incremento nas concentrações de NaCl promoveu aumento do IR indicando a presença de substâncias opticamente ativas, como glicose e frutose.. A determinação da concentração destas substâncias normalmente é obtida por meio do índice refratométrico que consiste no desvio da luz polarizada promovida por essas substâncias (BAGATIN et al., 2005). A presença de substâncias opticamente ativas contribuem com a ocorrência de ajustamento osmótico, manutenção da hidratação celular e consequente proteção das estruturas celulares (ASHRAF & HARRIS, 2004, MACONDES E GARCIA, 2009).

Os carboidratos são os principais substratos respiratórios para manutenção do metabolismo das plantas, principalmente na via glicolítica, em que são produzidos compostos importantes como lignina e suberina (TAIZ & ZEIGER, 2006). Estes estão diretamente envolvidos na composição da parede celular vegetal e sua quantidade é determinante para o aumento da taxa de alongação celular e, consequentemente, o crescimento da planta.

As alterações no metabolismo induzidas pelo excesso de íons são consequências de várias respostas fisiológicas na planta, como, modificações no balanço iônico, alterações estomáticas e na capacidade fotossintética (ZANANDREA et al., 2006).

A salinidade promove uma diminuição no conteúdo de clorofila em plantas sensíveis e um acréscimo em plantas tolerantes (JAMIL et al., 2007). No presente trabalho, maiores valores de teores de *Cl_a* e *Cl_b* foram verificados na concentração de 100 mM de NaCl, exceto para *Cl_b* para a cultivar Agrobela 963 em que esses teores não tiveram diferenças significativas em comparação com as plantas controle. A *Cl_a*, *Cl_b* e

carotenoides são pigmentos envolvidos na fotossíntese (STREIT et al., 2005) e são importantes para avaliar o aparato fotossintético das plantas (LICHTENTHALER, 1987; BRIX, 2009).

Alterações significativas na A foram verificadas nas duas cultivares em estudo, com maior valor a 100 mM, corroborando com os resultados de pigmentos cloroplastídicos. O aumento significativo da A , neste estudo, não indica que a planta manteve a taxa assimilatória líquida inalterada, pois nas folhas em que foram feitas as medições não foram observadas diferenças. Mas a planta reduziu a área foliar, como consequência a área total transpiratória, bem como a área disponível para os processos fotossintéticos, culminando com reduções no acúmulo de carbono, demonstrado pela redução nas características do crescimento, conforme demonstrado anteriormente. O aumento da concentração de NaCl não promoveu fechamento estomático, conforme foi constatado nos resultados da g_s , demonstrando que as duas cultivares adotaram estratégias metabólicas para minimizar o efeito do sal. Entre estas possíveis estratégias, sugere-se o ajustamento osmótico, com a síntese de solutos orgânicos osmoticamente compatíveis e compartimentalização de íons no interior do vacúolo ou, armazenamento dos íons em folhas mais velhas (SILVEIRA et al., 2009).

Steduto et al., (2000) não observaram variações na A e g_s em híbridos de girassol sob condição de salinidade, estes autores consideram que o controle da assimilação em plantas de girassol é dominada pela área foliar, ou seja, sob condições de salinidade, o girassol se ajusta morfológicamente, ao invés de fisiologicamente.

Por outro lado, a redução da AF contribuiu com a redução da área total disponível para a fotossíntese e, mesmo não sendo observada a redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar, o acúmulo de carbono foi comprometido.

Além da redução da área foliar e transpiratória, outros mecanismos podem ser utilizados para evitar a perda de água e manter as atividades fisiológicas funcionais. Entre os mecanismos se tem o decréscimo da E e aumento da EUA , conforme foi observado para cultivar Aguará 4 até a concentração de 100mM. Devido a este fato, a cultivar Aguará 4 se mostrou mais tolerante que a cultivar Agrobél 963, em que o incremento da concentração de NaCl promoveu redução na EUA na concentração de 50mM e um acréscimo na E em comparação com as plantas controle. Ao manter a turgescência, processos como condutância estomática, taxa de assimilação de CO_2 e expansão dos tecidos são também mantidos em funcionamento por um maior período

sob condições estressantes. (LUDLOW, 1987; NEPOMUCENO et al., 1998, NEPOMUCENO et al., 2001).

Em plantas jovens de pinhão manso, após sete dias de tratamento em 100mM de NaCl, observou-se reduções significativas na g_s e E (SILVA et al., 2011). Após 14 dias, observou-se que os íons salinos atingiram concentrações muito elevadas nas folhas promovendo danos fotossintéticos intensos (SILVA et al., 2011).

A avaliação de danos provocados a nível de fotossistemas pode ser obtida pela determinação da fluorescência da clorofila a , a qual permite avaliar de maneira não destrutiva além de selecionar cultivares e ou genótipos tolerantes à salinidade (NETO et al., 2011). Dentre as variáveis da fluorescência da clorofila a , a razão F_v/F_m indica a máxima eficiência na qual a luz é absorvida pelo fotossistema II e que efetivamente será aproveitada em processos fotoquímicos (BAKER & ROSENQVIST, 2004). Valores da razão F_v/F_m em torno de 0,8 demonstram alto desempenho fotossintético (VREDENBERG, 2008) sendo um indicativo de tolerância a estresses ambientais, incluindo a salinidade. Neste estudo, pode-se afirmar a salinidade não foi agressiva o bastante para promover danos no aparato fotossintético e diminuir a eficiência fotoquímica, pois os valores da razão F_v/F_m ficaram em torno de 0,8.

Para estimar a quantidade de energia absorvida pela clorofila associada ao FSII na atividade fotoquímica utilizou-se a variável $\Delta F/F_m'$ (LICHTENTHALER, 2007), decréscimos nestes valores estão diretamente associados a redução na eficiência fotoquímica nos centros de reações do FSII. Em híbridos de girassol, plantas sob condição de estresse (100 mM de NaCl) diminuíram o $\Delta F/F_m'$ em 64% (NETO et al., 2011). Já neste estudo comportamento contrário foi verificado para a variável $\Delta F/F_m'$ nesta mesma concentração, representando um acréscimo de 21,28%.

A salinidade não afetou a $\Delta F/F_m'$, a ETR e o NPQ da cultivar Agrobél 963, confirmando que o o NaCl não promoveu danos a nível de fotossistema II. Para a cultivar Aguará 4 aumentos na ETR e no NPQ, sugerem um mecanismo para minimizar o estresse com dissipação da energia em processos não fotoquímicos, na forma de calor. Esta é uma estratégia de proteção do aparato fotossintético contra o excesso de energia (Li et al., 2010). Resultados semelhantes também foram observados para a variável NPQ em plantas de *Ricinus communis* L. submetidas as concentrações até 200mM de NaCl (Li et al., 2010).

Os acréscimos de carotenoides nas folhas das plantas da cultivar Aguará 4, corroboram com o aumento do NPQ, associando ao aumento da dissipação de energia

na forma de calor. De acordo com Lima et al.,(2004) os carotenoides estão envolvidos em processos de transferência de energia e protegem as clorofilas contra a foto-oxidação.

O bom desempenho das medidas das características da fluorescência sugerem que a salinidade, no meio de crescimento, não promoveu danos no complexo coletor do FSII nas cultivares Aguará 4 e Agrobél 963.

5. CONCLUSÕES

As cultivares Aguará 4 e Agrobél 963 demonstraram ser tolerantes à salinidade nas condições deste estudo, mantendo o aparato fotossintético funcional durante o período experimental mesmo quando submetidas a concentrações elevadas de NaCl.

A maior capacidade da cultivar Aguará 4 em reduzir os valores de E e aumentar a EUA demonstra maior tolerância ao ambiente salino, quando comparada à cultivar Agrobél 963.

A estabilidade das características das trocas gasosas, a verificação da presença das substâncias opticamente ativas em ‘Aguará 4’ e ‘Agrobél 963’, está associada à maior capacidade de ajustamento osmótico, favorecendo absorção de água pela planta, mantendo sua atividade fisiológica funcional.

Embora as plantas sob salinidade tenham mantido bons indicadores morfológicos e fisiológicos de tolerância ao estresse, observou-se diminuição das características do crescimento, sobretudo na maior concentração de NaCl no ambiente de crescimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

BAGATIN, O.; SIMPLÍCIO, F.I.; SANTIN, S.M.O.; SANTIN FILHO, O. Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: Uma abordagem histórica como proposta de trabalho em sala de aula. **Química Nova na Escola**, nº 21, p. 34-38, 2005.

BAKER, N., ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, 55, p. 1607-1621, 2004.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v.25, p.173-185, 1990.

BILGER, W., SCHEREIBER, U., BJORKMAN, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia Brasiliensis**, 102, p.425-432, 1995.

BRIX, H. Chlorophylls and carotenoids in plant material; Protokoll Plants Chlorophyll *a*, *b* e carotenoids_ethanol, 2009.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, 103, p.551–560, 2009.

DIAS, N.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, F.L. (eds). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. Editora: Fortaleza, CE, p. 130-132, 2010.

EHLERINGER, J.; Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia Brasiliensis**, 102, p.366-370, 1981.

GARCIA, G.O.; NAZÁRIO, A.A.; MORAES, W.B.; GONÇALVES, I.Z.; MADALÃO, J.C.; Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. **Engenharia na agricultura**. V.18 N.4, p. 330-338, 2010.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta. Bioenergetics**, 990, p.87-92, 1989.

GOMES, D.P.; BRINGEL, J.M.M.; MORAES, M.F.H.; GOMES, J.J.A.; LEITE, R.M.V.B.C. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de girassol produzidas na região de Timon, Maranhão. **Summa Phytopathol.**, v. 32, n. 3, p. 291-292, 2006.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The – water culture method soil for growing plants without soil. Rerkely, CA. **Agricultural Experiment Station**. Universid of California (Circ. 347), 1950.

HUSSAIN, M.; FAROOQ, M.; SHEHZAD, M.; KHAN, M. B.; WAHID. A.; SHABIR, G. Evaluating the performace of elite sunflower hybrids under saline conditions. **International Agriculture Biology**, p.1814-9596, 2012.

JAMIL, M.; LEE, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agricola**, 64(2), p.111-118, 2007.

JUNIOR, J.A.S.; GHEYI, H.R.; FILHO, D.H.G.; DIAS.N.S.; SOARES, A.L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 842-849, 2011.

KUKI, K. N.; OLIVA, M. A.; GOMES F. P.; COSTA, A. C. Avaliação da eficiência do dimetilsulfóxido na extração de pigmentos foliares de *Schinus terebenthifolius* e *Cocos nucifera*. In: **Anais, SBFV**. X Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XII Congresso Latino-Americano de Fisiologia Vegetal, Recife, 2005.

LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiologists**, (110), p.903-91, 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**; Ed. Rima, p.531, 2004.

LELIS NETO, J. A. Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solo. Piracicaba, 2008. **Dissertação** (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

LI, G.; WAB, S.; ZHOU, J.; YANG, Z.; QIN, P. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress level. **Industrial Crops and Products**, 31, p.13–19, 2010.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, 148, p.350-382, 1987.

LICHTENTHALER, H. K.; A.C, A.; MAREK, M. B.; KALINA, J.; URBAN, O. Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. **Plant Physiology Biochemical**, 45, p.577– 588, 2007.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Dissertação** (Fisiologia Vegetal) *Bragantia*, Campinas, 63(3): p.335-340, 2004.

LUDLOW, M. Contribution of osmotic adjustment to the maintenance of photosynthesis during water stress. In J. Biggens (ed.) **Progress in Photosynthesis Research**. Martinus Nijhoff Publishers, Netherlands, p. 161-168, 1987.

MARCONDES, J.; GARCIA, A. B.; Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivo do Instituto Biológico**, 76(2), p.187-194, abr./jun., 2009.

MEDEIROS, A.M.A.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; LIMA, L.A.; BEZERRA, F.M.S.; CAVALCANTE, A.L.G. Efeito da salinidade da água de irrigação no desenvolvimento inicial da bucha vegetal. **INOVAGRI International Meeting & IV WINOTEC – Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas de Irrigação**, 2012.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanism of salinity tolerance. **Annual Review Plant Physiology**, 59, p.651-681, 2008.

NEPOMUCENO, A. L.; OOSTERHUIS, D. M.; STEWART, J. M. Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. **Environmental and Experimental Botany**, 40, p.29-41, 1998.

NEPOMUCENO, A.L.; NEUMALER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYAK, T. Tolerância á seca em plantas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, (23), 2001.

NETO, A.D.A.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: parte i análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.159-164, 2000.

NETO, A. D. A.; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, 42(4), p.893-897, 2011.

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

PORTO FILHO F.Q; MEDEIROS J.F; GHEYI H.R; MATOS J.A; SOUZA E.R; SOUSA NETO E.R. Crescimento do meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Horticultura Brasileira** 24: 334-341, 2006.

QUEIROZ, S.O.P.; BÜLL, L.T. Comportamento de genótipos de algodão herbáceo em função da salinidade do solo. **Irriga**. V.6 n.2 p. 124-133, 2001.

RASCHER, U.; LIEBIG, M.; LÜTTGE, U. Evaluation of instant light-responses curves of chlorophyll parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant Cell Environment**, 23(12), p. 1397-1405, 2000.

RODRIGUES D, Ortiz, L. Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil. Porto Alegre, Brazil: **Amigos da Terra Brasil**; São Paulo, Brazil: Vitae Civilis, 2006.

ROSSI, R. O. Girassol . Curitiba: **Tecnoagro**, 1998. 333p.

SAEG 9.1. **Sistema para Análises Estatísticas - SAEG**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007. Versão 9.1.

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, n.5, p. 602-610, 2009.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S.; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(5), p.437-445, 2009.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, 68(1), p.62-68, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, 66, p.1-8, 2009.

SOUSA, R. A. Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de Irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de Feijão-de-corda cv. Pitiúba; **Dissertação em Irrigação e drenagem**, Fortaleza, 2006.

STEDUTO, P.; ALBRISIO, R.; GIORIO, P.; SORRENTINO, G. Gás-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. **Environmental and Experimental Botany**, 44, p.243–255; 2000.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, 35(3), p. 748-755, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Massachusetts: Sinauer Associates, p. 690, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 271p, 2006.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, 25(1), p.47-150, 1990.

VREDENBERG, W. J. Analysis of initial chlorophyll fluorescence induction kinetics in chloroplasts in terms of rate constants of donor side quenching release and electron trapping in photosystem II. **Photosynthesis Research**, 96, p. 83–97, 2008.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total arotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, 144, p.307-313, 1997.

WILLADINO, L.; CAMARA; T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**. Goiânia, 6(11), p. 2, 2010.

ZANANDREA, I., NASSI, F. L., TURCHETTO, A. C., BRAGA, E. J. B, PETERS, J. A, BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, p.157-161, 2006.

ANEXO

Anexo I. Resumo da ANOVA para A , g_s , E e EUA de cultivares de girassol submetidas a diferentes concentrações na solução nutritiva de NaCl.

Fonte de variação	QUADRADOS MÉDIOS				
	GL	A	g_s	E	EUA
Cultivar (C)	1	18,82**	2 ⁻⁸ ns	12,78**	1,43*
Concentração (Co)	4	10**	7,3 ⁻⁷ ns	0,48**	0,46**
Interação C x Co	4	3,65**	4,7 ⁻⁷ ns	0,23**	0,36**
Resíduo	36	0,26	9,47	0,05	0,02
CV (%)		2,56	0,32	4,99	3,22

Anexo II. Resumo da ANOVA para F_v/F_m , $\Delta F/F_m'$, ETR e NPQ de cultivares de girassol submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução nutritiva.

Fonte de variação	QUADRADOS MÉDIOS				
	GL	F_v/F_m	$\Delta F/F_m'$	ETR	NPQ
Cultivar (C)	1	4,38 ⁻⁴ *	5,79 ⁻³ **	265,48*	7,42 ⁻³ **
Concentração (Co)	4	1,79 ⁻⁴ ns	4,79 ⁻⁴ ns	84,09*	1,98 ⁻² **
Interação C x Co	4	4,13 ⁻⁵ ns	1,03 ⁻³ *	157,06*	2,61 ⁻² **
Resíduo	36	9,50 ⁻⁵	2,94 ⁻⁴	50,94	3,56 ⁻⁴
CV (%)		1,16	3,44	3,60	3,26

Anexo III. Resumo da ANOVA para ψ_w e IR da folha e da raiz de cultivares de girassol submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução nutritiva.

Fonte de variação	QUADRADO MÉDIO			
	GL	Potencial hídrico	Índice refratométrico folha	Índice refratométrico raiz
Cultivar (C)	1	5,618 ⁻⁵ ns	0,62 ^{ns}	18,00 ^{ns}
Concentração (Co)	4	1,94-1**	9,69**	0,20**
Interação C x Co	4	1,82 ⁻² *	0,70 ^{ns}	3,18 ^{ns}
Resíduo	40	3,55 ⁻³	0,26	2,60
CV (%)		-6,81	17,84	13,19

Anexo IV. Resumo da ANOVA para AF, AFE, RAF, MSPA, MSR e MST de cultivares de girassol submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução nutritiva.

Fonte de variação	QUADRADO MÉDIO						
	GL	AF	AFE	RAF	MSPA	MSR	MST
Cultivar (C)	1	31474,69 ^{ns}	937587,8**	78328,22**	18,65**	0,42**	24,63**
Concentração (Co)	4	318795,5**	522517,3**	44403,96**	11,05**	1,43**	20,12**
Interação C x Co	4	85112,33**	391567,1**	25641,52**	9,76**	0,12**	10,63**
Resíduo	36	8119,563	23847,86	778,8365	0,05	0,02	0,06
CV		16,09	37,78	21,69	5,6	17,15	5,10