

YURI LIMA MELO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E CARACTERIZAÇÃO DE
GENÓTIPOS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) QUANTO A
MARCADORES FENOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS E
BIOQUÍMICOS EM DUAS MICRORREGIÕES
EDAFOCLIMÁTICAS DO RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia: Fitotecnia.

Orientadora: Profa Dra. CRISTIANE
ELIZABETH COSTA DE MACÊDO

MOSSORÓ-RN
2012

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFRSA**

M528d Melo, Yuri Lima.

Desempenho agrônomo e caracterização de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto a marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos em duas microrregiões edafoclimáticas do Rio Grande do Norte. / Yuri Lima Melo. -- Mossoró, 2012.

97 f.: il.

Dissertação (Mestrado Fitotecnia) Área de Concentração: Melhoramento de plantas – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Prof^o. Dra. Cristiane E. C. de Macêdo.

Co-orientador: Prof^o. Dr. Glauber H. de S. Nunes.

1. Girassol (*Helianthus annuus* L.). 2. Salinidade. 3. Seca. 4. Ajustamento osmótico. I. Título.

CDD: 633.85

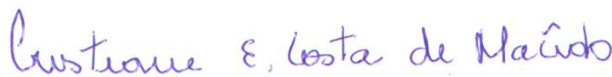
Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa
CRB15/453

YURI LIMA MELO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS
DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) QUANTO A MARCADORES
FENOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS EM DUAS
MICRORREGIÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia: Fitotecnia.

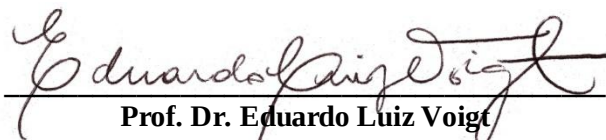
APROVADA EM: 13 / 02 / 2012



Profa. Dra. Cristiane Elizabeth C. de Macêdo

UFRN

Orientadora



Prof. Dr. Eduardo Luiz Voigt

UFRN

Conselheiro



Prof. Dr. Glauber Henrique de Souza Nunes

UFERSA

Conselheiro

Dissertação apresentada em sessão pública no mês de
Fevereiro de 2012, no Campus da Universidade Federal do Rio Grande do
Norte.

Aos meus pais por tudo o que tenho e o que sou

Aos meus irmãos pelo carinho e apoio

Aos meus avós maternos pelo afeto e incentivo,

Dedico

A minha esposa Camila Catarina, pelo
companheirismo, amor e incentivo,

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, porque nada nos é possível se não for de Sua vontade.

À minha orientadora Profa. Cristiane Macêdo, pelo incentivo, paciência e presteza no auxílio às atividades e discussões referentes a esta Dissertação. Obrigado pelas oportunidades concedidas e por sempre acreditar no meu potencial.

À UFERSA pela oportunidade de cursar a Pós-graduação e contribuir com a minha formação profissional. Ao Prof. Glauber Nunes pelos conselhos e conhecimentos concedidos. À CAPES pela bolsa concedida.

À UFRN pelas instalações, transporte e colaboração dos funcionários. Aos professores Eduardo Luiz Voigt e Josemir Moura Maia pelos conselhos, orientações e apoio que contribuíram na finalização desse trabalho.

À EMPARN, pelo fornecimento de pessoal qualificado, material e equipamentos, tornando possível o desenvolvimento do trabalho. Aos pesquisadores Marcelo Lira, Florisvaldo Guedes e Chagas, pela atenção e auxílio na instalação e condução do experimento, e a todos os servidores da Empresa que contribuíram de forma direta ou indireta para que esse trabalho fosse possível.

Aos meus amigos e colegas de curso, Mônica, Lisiane, Jussara, Thiago, Juliana e Cibelle pelos momentos de descontração e auxílio para conclusão desse trabalho. E a todos os integrantes do LaBioTec.

Aos meus pais, José Luiz e Lúcia Cristina, a quem devo a vida, pelo amor incondicional, educação e formação moral. Meus irmãos Yugo e Yani, pelo companheirismo, carinho, amizade e auxílio durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus avós maternos, Vandete e Laelson, pelo amor, carinho e atenção, tudo por vocês. Aos meus avós paternos, Fernandina e Ildefonso, pelo exemplo de força, determinação e humildade; Cesarina e Vicente, pelo exemplo de bondade e amor ao próximo. Tios e primos que fazem parte da minha jornada.

À minha noiva Camila Cirne, pelo amor, paciência e apoio em todos os momentos. Ao casal, Gilson (sogro) e Margareth (sogra), pelo respeito e afeto.

Muito Obrigado!

*“Toda reforma interior e toda mudança
para melhor dependem exclusivamente
da aplicação do nosso próprio esforço”.*
(Immanuel Kant)

RESUMO

MELO, Yuri Lima. **Desempenho agrônômico e caracterização de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto a marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos em duas microrregiões edafoclimáticas do Rio Grande do Norte**. 2012. 97p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2012.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar, por meio de marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos, o desempenho agrônômico de dois genótipos de girassol cultivados em condições edafoclimáticas de déficit hídrico e salinidade. Para tanto, os genótipos de girassol Helio 253 e Catissol 01 foram cultivados durante 3 meses, em uma área com presença de sais (Ipanguaçu-RN – IPÇ) e outra com deficiência hídrica (Parnamirim-RN – PAR) no RN. Após 50 dias da emergência, 30 plantas foram submetidas a análises agrônômicas: período reprodutivo do girassol (data de floração inicial - DFI, data de floração plena – DFP e data da maturação fisiológica – DMF) e indicadores de crescimento e rendimento agrônômico (altura – AP, diâmetro do capítulo – DC, número de folhas – NF, massa de 1000 aquênios e rendimento de grãos – RG); e 10 plantas foram submetidas a análises de variáveis fisiológicas e bioquímicas das folhas apicais: indicadores de *status* hídrico (conteúdo relativo de água – CRA, percentual de umidade – %U) e danos de membrana (vazamento de eletrólitos – VE); e em folhas apicais, medianas e basais: indicadores de estresse iônico (Na^+ , K^+ e Cl^-) e ajustamento osmótico (açúcares solúveis totais – AST e não-redutores – ANR, aminoácidos livres totais – AALT e prolina – PRO). Ao avaliar os períodos reprodutivos do girassol, nos dois genótipos estudados, observou-se que em PAR, as plantas tiveram os seus períodos reprodutivos DFI, DFP e DMF retardados em relação aos de IPÇ. Ao avaliar os dois genótipos cultivados em PAR, observou-se que as plantas apresentaram reduções significativas nas variáveis AP (33 e 34%), DC (21 e 14%), NF (10 e 25%), massa de 1000 aquênios (31 e 18%), RG (70 e 51%) e CRA (13 e 17%), para Catissol 01 e Helio 253, respectivamente, comparadas a IPÇ. O VE foi mais pronunciado em IPÇ, para Catissol 01 (35%) e Helio 253 (54%), do que em PAR. Em PAR, para os dois genótipos, as concentrações de K^+ foram maiores, em todas as folhas, quando comparada a IPÇ. Para os dois genótipos, os níveis de Na^+ e Cl^- foram maiores em IPÇ do que em PAR, em todas as folhas. Tanto em IPÇ quanto em PAR, nos dois genótipos, não foi verificada toxicidade por íons pela relação K^+/Na^+ . Foi observado, no genótipo Helio 253 em IPÇ, maiores concentrações de AST nas folhas do que em PAR. Do *pool* total de AST, observou-se maior concentração de AR nas folhas apicais e basais, enquanto que os ANR concentraram-se nas folhas medianas. Em PAR, o Helio 253 apresentou maiores concentrações de AR em todas as folhas. Ao analisar os AST no Catissol 01, observou-se maior concentração em IPÇ quando comparada a PAR, com maiores concentrações de AR nas duas microrregiões em todas as folhas. Em IPÇ, o Helio 253 apresentou maiores concentrações de AALT nas folhas apicais e medianas e de PRO em todas as folhas quando comparado a

PAR. O Catissol 01 não apresentou diferenças significativas para o acúmulo de AALT entre IPÇ e PAR, com exceção das folhas medianas, mas apresentou valores superiores na concentração de PRO em IPÇ (folhas medianas e basais), quando comparadas a PAR. Conclui-se assim, que os genótipos apresentaram melhores desempenhos em IPÇ; as concentrações de sais em IPÇ não foram tóxicas, mas causaram indícios de danos ao metabolismo dos genótipos; a deficiência hídrica em PAR causou distúrbios e danos aos processos de crescimento e rendimento nos dois genótipos; a variação dos osmólitos parece estar associada a danos às vias metabólicas e não ao possível ajustamento osmótico; e ainda, há evidências de que a reação das plantas às condições ambientais depende do genótipo.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L., salinidade, seca, ajustamento osmótico.

ABSTRACT

MELO, Yuri Lima. **Agronomic performance and characterization of genotypes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as the phenological, physiological and biochemical markers in two climatic region in the part of Rio Grande do Norte**. 2012. 97p. Dissertation (Ms in Agronomy: Plant Science) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

The aim of this work was to characterize the agronomic performance of two sunflower genotypes grown under climatic conditions of salinity and water deficit by phenological, physiological and biochemical markers. In this sense, Catissol 01 and Helio 253 sunflower genotypes were cultivated during 3 months in two different areas in the RN state, a salt area (Ipanguaçu-RN – IPÇ) and a water deficient area (Parnamirim-RN – PAR). After 50 days of the emergency, 30 plants were selected to agronomic analysis like sunflower reproductive period (initial flowering date - DFI, full of bloom date – DFP and physiological maturity date – DMF), growth indicators and agronomic yield (height – AP, diameter chapter – DC, number of sheets – NF, mass of achenes and grain yield per 1000 – RG). Apical leaves from 10 plants were submitted to physiological and biochemical analysis like leaf water status indicators (relative content of water – CRA, percentage of moisture – %U) and membrane damage (electrolyte leakage – VE). In apical, middle and basal leaves were made analysis like ionic stress indicators (Na^+ , K^+ , and Cl^-) and osmotic adjustment (total soluble sugars-AST, reducing sugars – AR, non-reducing sugars – ANR, total free amino acids – AALT and proline – PRO). In PAR it was observed that the plants had their reproductive periods DFI, DFP and DMF retarded with respect to IPÇ to the two genotypes studied. In PAR, Catissol 01 and Helio 253 showed significant reductions in the variables AP (33 and 34%), DC (14 and 21%), NF (10 and 25%), mass of 1000 achenes (31 and 18%), RG (51 and 70%) and CRA (13 and 17%), respectively, compared to IPÇ. The VE was more pronounced in IPÇ than in PAR for both genotypes. It was noted that in PAR, K^+ concentrations were higher in all leaves when compared to IPÇ for the two genotypes. Na^+ and Cl^- levels were higher in IPÇ than on PAR in all leaves for Catissol 01 and Helio 253. Both IPÇ and PAR and for both genotypes, it was not identified ion toxicity by K^+/Na^+ relation. It was observed that genotype Helio 253 has higher concentrations of AST in the leaves in IPÇ than in PAR. From the pool of AST, it was observed higher concentration of AR in the basal and apical leaves, while ANR was higher in median leaves. The Helio 253 genotype showed higher concentrations of AR in all leaves in PAR. The content of AST of Catissol 01 was higher in IPÇ than PAR, showing higher concentrations of AR in all leaves for the two places of cultivation. The genotype Helio 253 showed higher concentrations of AALT (apical and medians leaves) and PRO in IPÇ than in PAR. The genotype Catissol 01 did not provide significant differences in the content of AALT among IPÇ and PAR, with the exception of median leaves. But this genotype showed higher concentration of PRO in IPÇ (for basal and median leaves) than in PAR. Thus, we concluded that the genotypes showed better performance in IPÇ, that the concentrations of salts in IPÇ were not

toxic, but caused signs of damage to the metabolism of both genotypes, that the water deficiency in PAR caused damage and disturbances at the growth and yield in two genotypes, but the variation of osmolytes seems to be associated with metabolic damage instead of the osmotic adjustment, there is evidence that the response of plants to environmental conditions depends on the genotype.

Key words: *Helianthus annuus* L., salinity, drought stress, osmotic adjustment

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise completa dos solos das áreas experimentais.	40
Tabela 2	Médias das temperaturas mínima, média e máxima, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica em Ipanguaçu-RN e Parnamirim-RN durante o período de abril/2011 a junho/2011. EMPARN, 2011.	41
Tabela 3	Recomendações para adubação de girassol nas duas microrregiões de cultivo.	44
Tabela 4	Principais fases reprodutivas do desenvolvimento dos genótipos de girassol Helio 253 e Catissol 01 nas microrregiões de Ipanguaçu-RN (IPÇ) e Parnamirim-RN (PAR): Data da Floração Inicial (FDI), Data da Floração Plena (DFP), Data da Maturação Fisiológica (DMF).	53
Tabela 5	Indicadores de crescimento e rendimento agrônômico em genótipos de girassol nas duas microrregiões de cultivo.	55
Tabela 6	Indicadores de status hídrico e dano às membranas dos dois genótipos de girassol cultivados nas duas microrregiões de cultivo.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Aspectos morfológicos do capítulo de girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.).	20
Figura 2	Aspecto morfológico de aquênios de girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.).	21
Figura 3	Delimitação da região semiárida e sub-úmida seca do Nordeste do Brasil associada ao “polígono das secas” (Fonte: Adaptado de Brasil, 2005).	27
Figura 4	Localização da área experimental, Ipanguaçu-RN, 2011.	39
Figura 5	Localização da área experimental, Parnamirim- RN, 2011.	39
Figura 6	Plântulas de girassol semeadas em bandejas gerbox com substrato vermiculita 7 (sete) dias após a emergência.	42
Figura 7	Representação gráfica das parcelas experimentais dos genótipos de girassol Helio 253 e Catissol 01 cultivados nas microrregiões de IPÇ e PAR. EMPARN, 2011.	44
Figura 8	Estádios de desenvolvimento dos genótipos de girassol nas duas microrregiões de cultivo representando o estágio R4 (A), R5.5 (B) e R9 (C).	45
Figura 9	Localização das folhas apicais, medianas e basais em girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.).	46
Figura 10	Determinações da primeira leitura – L1 (A) e segunda leitura – L2 (B) para o cálculo de VE em condutivímetro digital.	48
Figura 11	Concentrações de potássio (A e B), sódio (C e D), cloreto (E e F) e razão K^+/Na^+ (G e H) em diferentes localizações das folhas nos genótipos de girassol Helio 253 (A, C, E e G) e Catissol 01 (B, D, F e H) cultivados nas microrregiões de IPÇ  e PAR  . Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student..	62
Figura 12	Açúcares Solúveis Totais (A), taxas de contribuição dos Açúcares Redutores  e Não-Redutores  no genótipo Helio	

253 cultivado nas microrregiões de IPÇ ■ e PAR ■. Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student..... 69

Figura 13 Açúcares Solúveis Totais (A), taxas de contribuição dos Açúcares Redutores ■ e Não-Redutores ■ no genótipo Catissol 01 cultivado nas microrregiões de IPÇ ■ e PAR ■. Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student. 71

Figura 14 Aminoácidos Livres Totais (A e B) e Prolina Livre (C e D) em diferentes localizações das folhas nos genótipos de girassol Helio 253 (A e C) e Catissol 01 (B e D) cultivados nas microrregiões de IPÇ ■ e PAR ■. Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student. 75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.	19
2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS DO GIRASSOL.	19
2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E POTENCIALIDADES.	22
2.3 O CENÁRIO DA SECA E SALINIZAÇÃO DOS SOLOS NO NORDESTE BRASILEIRO.	26
2.4 EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO E SALINIDADE SOBRE AS PLANTAS.	29
2.5 MECANISMOS DE RESISTÊNCIA – AJUSTAMENTO OSMÓTICO.	31
2.6 A PARTICIPAÇÃO DOS COMPOSTOS OSMOTICAMENTE COMPATÍVEIS.	33
2.7 A BIOTECNOLOGIA A SERVIÇO DA AGRICULTURA E DO MEIO AMBIENTE.	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.	38
3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.	38
3.2 MATERIAL VEGETAL.	42
3.3 CONDIÇÕES DE CULTIVO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.	43
3.4 CARACTERES AVALIADOS.	45
3.4.1 Abordagem agronômica	45
3.4.2 Abordagem fisiológica e bioquímica.	46
3.4.2.1 INDICADORES DE ESTRESSE HÍDRICO	47
Conteúdo Relativo de Água (CRA) e Percentual de Umidade (%U).	47
Vazamento de Eletrólitos (VE).	47
3.4.2.2 INDICADORES DE ESTRESSE IÔNICO.	48
Determinação da concentração de Na ⁺ , K ⁺ e Cl ⁻ .	48
3.4.2.3 INDICADORES DE ESTRESSE OSMÓTICO.	49
Extração das amostras.	49
Açúcares solúveis totais (AST).	49

Açúcares redutores (AR) e não-redutores (ANR).	50
Aminoácidos livres totais (AALT).	50
Prolina livre (PRO).	51
3.4.3 Análise estatística.	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.	53
4.1 INDICADORES DE CRESCIMENTO, RENDIMENTO AGRONÔMICO E STATUS HÍDRICO DE GENÓTIPOS DE GIRASSOL EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO RN.	53
4.2 INDICADORES FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE ESTRESSE IÔNICO E AJUSTAMENTO OSMÓTICO EM GENÓTIPOS DE GIRASSOL EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO RN.	61
5 CONCLUSÕES.	76
REFERÊNCIAS.	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma espécie oleaginosa de grande importância mundial sendo explorada em áreas onde a seca e a salinidade ocorrem com frequência. Com base em indicadores de estresse hídrico é considerada uma espécie de tolerância moderada a seca e salinidade (KATERJI et al., 2000; CATERINA et al., 2007).

A importância da cultura do girassol tem aumentado no cenário agrícola nacional e internacional. O seu cultivo está ligado principalmente à produção de óleo tanto relacionado ao consumo humano como para a produção de biocombustíveis. Tais peculiaridades da cultura despertam grande interesse mundial, pois representam uma alternativa para a produção de matéria-prima em função do elevado teor de óleo presente nos aquênios e também a sua ampla adaptação às diferentes regiões edafoclimáticas (LEITE et al., 2005).

Em média, além de 400 kg de óleo de excelente qualidade, para cada tonelada de grão, a cultura do girassol produz 250 kg de casca e 350 kg de torta, com 45 a 50% de proteína bruta. Além do consumo humano, apicultura, biodiesel e ração animal, o óleo de girassol pode também ser utilizado nas indústrias farmacêuticas, de cosméticos, tintas e limpeza (VIEIRA, 2005). Tendo em vista a alta demanda dos produtos e finalidades derivados do cultivo de girassol, esse continua em expansão em nosso país, já tendo despertado o interesse inclusive dos estados da Região Nordeste.

O clima favorável, a tradição agrícola e a disponibilidade de cerca de 100 milhões de hectares de terras disponíveis à agricultura (ROSS, 2001), tornam o Brasil apropriado para o cultivo de espécies ricas e potencialmente úteis à produção de óleos vegetais nas áreas pouco irrigadas e com baixo índice de chuvas como no Nordeste do país. Em contrapartida, nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste brasileiro, o excesso de sais no solo e o déficit hídrico causam efeitos negativos sobre o crescimento, o desenvolvimento ou a produção das plantas, dependendo principalmente das características do solo, do ar e dos genótipos cultivados.

O déficit hídrico, bem como a salinização do solo, são fatores intrínsecos e que agem de forma sinérgica sobre as plantas, principalmente em decorrência da baixa precipitação associada à elevada evaporação da água, a qual depende de características físicas e químicas do solo (LARCHER, 2004). Ambos exercem efeitos adversos nas plantas, incluindo distúrbios osmóticos, que dificulta a absorção de água pelas raízes, toxicidade por íons e desequilíbrio nutritivo (TORRES et. al., 2004). A seca, associada a altos níveis de salinidade têm limitado a produção agrícola, sendo fator determinante para o crescimento e a produção de culturas, induzindo a modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores (ASHRAF & HARRIS, 2004; MUNNS, 2005). Para garantir a sobrevivência a condições ambientais desfavoráveis, as plantas acumulam solutos compatíveis que aumentam a habilidade das células em reter a água sem afetar o metabolismo (HAMILTON & HECKATHORN, 2001).

Ressalta-se, portanto, que em áreas afetadas pela seca e salinidade, é altamente estratégica a implantação de pesquisas que promovam a biodiversidade agrícola, aliada à viabilidade econômica. Estas são iniciativas importantes para a manutenção da sustentabilidade produtiva nos sistemas agrícolas, além de minimizar as perdas por erosão e a degradação dos solos, proporcionando assim um maior equilíbrio ecológico.

Compreender as respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das plantas tem grande relevância para embasar o conhecimento dos efeitos de estresses na produção. Mudanças específicas em indicadores de crescimento/desenvolvimento e rendimento agrônomo podem ser identificadas como mecanismos morfológicos; mudança no *status* hídrico, integridade das membranas, concentrações de solutos inorgânicos e alocação de nutrientes e/ou síntese de compostos orgânicos podem agir como indicadores fisiológicos e bioquímicos (LARCHER, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2009).

A busca por conhecimentos a respeito da resistência da cultura ao déficit hídrico e à salinidade poderá ser utilizada posteriormente na seleção e melhoramento genético dessa espécie e contribuir para as áreas da agronomia, engenharia agrícola e biotecnologia. Dessa forma, o gerenciamento de técnicas

adequadas para a criação de plantas geneticamente modificadas são ferramentas que aperfeiçoam a eficiência do uso de recursos por parte das plantas, principalmente em combate aos estresses abióticos (CHAVES et. al., 2009).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo central caracterizar o desempenho agrônômico de dois genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivados em condições edafoclimáticas de déficit hídrico e salinidade. Adicionalmente, o trabalho visa validar uma metodologia de diagnose precoce de indicadores de déficit hídrico, estresse iônico e ajustamento osmótico que possa ser utilizada na seleção de genótipos de girassol com maior capacidade de produção nos climas e condições ambientais de duas microrregiões diferentes do Rio Grande do Norte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS DO GIRASSOL

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual pertencente à família Asteraceae. 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”.

A planta apresenta grande diversificação de características fenotípicas. Possui caule robusto e ereto, com ou sem pêlos, 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 (CASTIGLIONI et al., 1994), usualmente oscilando entre 1,0 m e 2,5 m. Suas folhas são alternas e pecioladas, com comprimento de 8 a 50 cm e com um número de folhas por caule variando entre 8 e 70, mas geralmente este número fica entre 20 e 40. Além disso, as folhas de girassol podem ter diversos formatos e tamanhos (FRANK & SZABO, 1989). A espécie ainda possui sistema radicular do tipo pivotante que promove uma considerável reciclagem de nutrientes e aumento da matéria orgânica do solo quando deixado após a colheita (CASTRO et al., 1996a).

A sua inflorescência é do tipo capítulo (Figura 1), com formação plana, convexa ou côncava, com flores do disco dando origem aos frutos, denominados aquênios (grãos), e as flores do raio, que são estéreis, servindo para atrair insetos polinizadores, particularmente abelhas, sendo assim uma planta de fecundação cruzada (CASTRO et al., 1996a). Geralmente, os capítulos possuem diâmetros de 6 a 50 cm, com número de flores variando de 100 a 8000 (CASTRO et al., 1996b). A

haste e a inflorescência do girassol são os componentes de maior participação na produção de massa e/ou em ornamentações (NEVES et al., 2005).

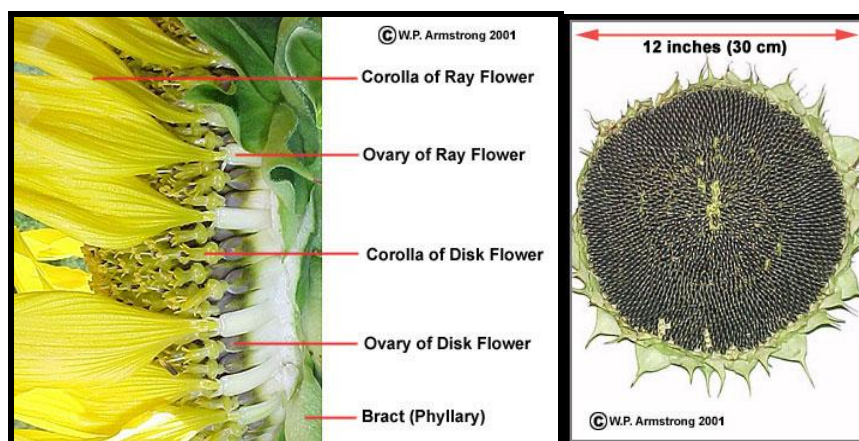


Figura 1: Aspectos morfológicos do capítulo de girassol (*Helianthus annuus* L.).

Os aquênios têm forma oblonga, geralmente achatada, composto de pericarpo (casca ou tegumento), mesocarpo e endocarpo (amêndoa) de tamanho, cor e teor de óleo variável conforme as características de cada cultivar (Figura 2). As amêndoas contêm baixo teor de fibras, entretanto são ricas em óleo e proteína. Já a casca contém 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). Entre outros usos, suas sementes podem ser utilizadas para fabricação de ração animal e extração de óleo de alta qualidade para consumo humano ou como matéria-prima para a produção de biodiesel (PORTO et al., 2007).

Dentre os óleos vegetais, o óleo de girassol destaca-se por suas excelentes características físico-químicas e nutricionais. Possui alta relação de ácidos graxos poliinsaturados (65,3%) e saturados (11,6%), sendo que o teor de poliinsaturados é constituído, em grande parte, pelo ácido linoléico (65%). Por essas características, é um dos óleos vegetais de melhor qualidade nutricional e organoléptica do mundo (CASTRO et al., 1997).



Figura 2: Aspecto morfológico de aquênios de girassol (*Helianthus annuus* L.).

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. Em lavouras comerciais, durante a floração, as abelhas propiciam aumento da produção, pela polinização de um maior número de flores além de possibilitar completa fecundação das mesmas, ou seja, além da produção de aquênios, a produção de mel pode ser outra fonte de renda, visto que chega a produzir de 30 a 40 kg de mel por hectare (LEITE et al., 2005).

A cultura requer de 400 a 500 mm de água bem distribuídos ao longo do ciclo (CASTRO & FARIAS, 2005), sendo a composição dos ácidos graxos dependente do suprimento ideal de água (ANASTASI et al., 2010). Na ausência de estresse hídrico, a radiação solar e a temperatura do ar tornam-se elementos de restrição à produtividade (CHAPMAN et al., 1993). Uma importante característica do girassol é a sua resistência à amplitude térmica, compreendida na faixa entre 8 e 34 °C, sendo possível a sua adaptação em lugares de dias quentes e noites frias.

Para desenvolver-se, o girassol não necessita de solos com alta fertilidade. A exigência nutricional da cultura de girassol varia em função do desenvolvimento no qual as plantas se encontram. Castro e Oliveira (2005) verificaram que a maior absorção de nutrientes e água e, conseqüentemente, maior crescimento das plantas de girassol, ocorre a partir da emissão do botão floral até o florescimento pleno

(estágio R5.5). A textura do solo pode variar de arenosa a argilosa, porém não pode haver compactação e acidez. A boa drenagem é essencial para o seu bom desenvolvimento. O girassol é resistente à alcalinidade do solo, mas tem baixo desenvolvimento em solos com pH inferior a 5,2 (CÂMARA, 2001).

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E POTENCIALIDADES

O cultivo de girassol tem hoje abrangência mundial, colocando a espécie atualmente (safra 2010/2011) na quinta colocação dentre as oleaginosas mais produzidas no mundo e a quarta em produção de óleo (USDA 2011). O constante avanço de áreas semeadas com girassol vem ganhando números relevantes também no cenário nacional. Segundo dados da CONAB (2010), a safra 2009/2010 chegou à marca de 71 mil ha ocupados com essa cultura e uma produção de 80,6 mil toneladas nesse último período. A produtividade do girassol no Brasil tem oscilado muito ao longo dos anos, com a média de produtividade de aquênios estabilizada em torno de 1.500 kg ha⁻¹. A razão da relativa baixa produtividade de aquênios é o uso reduzido de tecnologias de produção, visto que o girassol ainda é tratado como uma cultura secundária (LEITE et al., 2005).

A sua alta capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e a sua plasticidade, por se desenvolver bem em regiões de clima temperado, subtropical e tropical (BARNI et al., 1995a), permite que a espécie apresente características agronômicas importantes. Dentre tais características, as plantas de girassol podem suportar grande intensidade luminosa, devido ao seu valor de saturação à luz, associado à umidade prontamente disponível no solo (MOTA, 1983).

A alta eficiência em explorar a água disponível no solo para o seu desenvolvimento, sendo capaz de produzir grande quantidade de matéria seca sob condição de estresse hídrico, e sua tolerância à ampla faixa de temperaturas, sem redução significativa da produção (CASTRO & FARIAS, 2005), são também

fatores que estimulam o cultivo do girassol, principalmente em áreas consideradas marginais para outras culturas.

Além de maior tolerância à seca, frio e calor, o girassol foi classificado como espécie de tolerância moderada à salinidade, quando comparada com a maioria das culturas no Brasil (KATERJI et al., 2000; LEITE et al., 2005). Aliado a essas características, o seu rendimento parece ser pouco influenciado pela latitude, altitude e pelo fotoperíodo, o que confere ao girassol grande potencialidade de cultivo em diferentes regiões do país, fazendo dela uma boa opção aos produtores brasileiros (LAZZAROTTO et al., 2005).

A cultura de girassol ainda é reconhecidamente utilizada por suas propriedades medicinais, melífera, matéria-prima para silagem e forragem, adubação verde, ornamentação e por conferir melhoria ao solo (UNGARO et al., 2009). Os fitoesteróis, presentes nos aquênios, em concentrações relativamente altas, têm sido estudados pela sua grande importância alimentar e industrial (MOULOOUNGUI et al., 2006).

O cultivo de girassol pode ainda se apresentar como mais uma opção nos sistemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos, aumentando a diversificação do sistema produtivo para o agricultor, podendo exercer função na reciclagem de nutrientes e promover a colonização micorrízica, proporcionando ganhos expressivos de produtividade nas culturas sucessivas, como exemplo a soja, com ganho de 15%, e o milho, 30% (OLIVEIRA et al., 2004; PORTO, 2007). Porém, Malavolta et al., (1997) informam que essa cultura pode ser considerada exigente em macronutrientes e micronutrientes, sendo necessária a correção de solos com acidez acentuada.

Entre outros usos, suas sementes podem ser utilizadas para fabricação de ração animal e extração de óleo de alta qualidade para consumo humano ou como matéria-prima para a produção de biodiesel, sendo esses últimos, importantes na contribuição do aumento de 13% ao ano de áreas semeadas com o girassol (GOMES, 2005). Segundo Silva et al. (2008), o girassol torna-se mais uma opção na escolha do plantio pelo agricultor para produção de biocombustível renovável,

porque a espécie compõe o Programa Nacional de Biodiesel, não apresenta alto custo financeiro e o plantio é de fácil adaptação a vários tipos de solos.

O óleo de girassol vem despertando, nos últimos anos, o interesse de muitos consumidores pelo recente conhecimento científico sobre suas propriedades nutricionais, deixando-o em uma posição de destaque no cenário mundial no consumo de óleo comestível. O girassol produz atualmente cerca de 1.000 litros de óleo por hectare/ano. Com alto teor de óleo nos grãos, consequentemente com maior rendimento por tonelada que algumas leguminosas anuais, e tendo facilidade de extração do óleo por prensagem, o girassol é uma cultura apropriada para pequena propriedade, favorecendo a inclusão do agricultor familiar na cadeia produtiva, tendo assim importância no aspecto social da agricultura (EMBRAPA, 2008).

Apesar da grande diversidade de respostas às condições edafoclimáticas, a cultura do girassol no Brasil concentra-se nas regiões Centro Oeste e Sul que contribuem com cerca de 98% da produção nacional, estando os outros 2% divididos entre dois estados do Nordeste, o Ceará e o Rio Grande do Norte (CONAB, 2010). A má distribuição e a não ocupação das terras abandonadas, parecem contribuir para que a produção, o processamento e o consumo da oleaginosa, bem como dos seus principais derivados (óleo e farelo), estejam muito abaixo do potencial estimado para a cultura (LEITE et al., 2005).

Desde o ano de 2005, os dados da exploração de girassol no Nordeste têm sido levantados pelo IBGE. Estudos realizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) demonstram que o girassol, dentre alternativas de espécies com potencial para produção de biodiesel, tem boa adaptação ao clima do Rio Grande do Norte (RN), podendo inclusive ser cultivado em regiões semiáridas e tropical de praticamente todo o estado. Ensaio realizados nos municípios Norte-Riograndeses de Apodi, Ipanguaçu e Canguaretama, em duas redes experimentais nos anos agrícolas de 2006 e 2007, registraram médias de produção que variam de 1300 a 2700 kg ha⁻¹, superiores à média nacional de 1.500 kg ha⁻¹, o que evidencia as condições edafoclimáticas propícias ao desenvolvimento da cultura do girassol no RN (LIRA et al., 2011).

Todo esse potencial de rendimento obtido pelo girassol depende da cultivar e das condições ambientais da região de cultivo (EMBRAPA, 1999; ABREU et al., 2001). A seleção de genótipos de girassol nos ensaios de rede é, normalmente, fundamentada nas médias gerais de rendimento de grãos e de óleo obtidas nos diferentes ambientes de teste (locais e anos). Entretanto, a consideração de médias em ambientes favoráveis e desfavoráveis pode evidenciar os genótipos com adaptação específica a cada tipo de ambiente, ou a ambos. Esse fato pode ser verificado, também, em outros estudos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos (de la VEGA & CHAPMAN, 2006).

Segundo Santos et al. (2002), a otimização de eficiência produtiva é fundamental para reduzir os custos de produção. Vários fatores, incluindo época de semeadura, variabilidade genética, fertilidade do solo, disponibilidade de água, estágio de desenvolvimento da planta, número de plantas por unidade de área e suas interações, afetam a produtividade da cultura (TOMICICH et al., 2003). A investigação dos limites de produtividade visa identificar a contribuição das variáveis do ambiente responsáveis pelo desempenho final de determinado genótipo e ressaltar em que nível cada uma delas representa estrangulamento à expressão dessa produtividade (BARNI et al., 1995b).

Essa realidade vem ao encontro de necessidades de pesquisas, objetivando o fortalecimento, bem como o planejamento organizado da expansão do cultivo do girassol. Segundo alguns pesquisadores, os principais desafios que o girassol enfrenta no Brasil são basicamente três: (1) oferecer aos produtores uma cultura alternativa que, em caráter complementar, possibilite segunda colheita, sobre a mesma área e mesmo ano agrícola; (2) oferecer mais uma matéria-prima oleaginosa às indústrias de processamento de outros grãos, reduzindo sua ociosidade e, finalmente, (3) oferecer ao mercado um óleo comestível de alto valor nutritivo (LEITE et al., 2005). Junta-se a esses desafios, a alternativa atual da produção de energia, já que o óleo de girassol pode ser utilizado como matéria-prima para produção de biodiesel (LEITE et al., 2005).

2.3 O CENÁRIO DA SECA E DA SALINIZAÇÃO DOS SOLOS NO NORDESTE BRASILEIRO

De todos os fatores inerentes à produção agrícola, o clima é o de mais difícil controle e maior ação sobre a limitação das máximas produtividades. Esse fator aliado às condições do solo são as variáveis que explicam as diferenças regionais dos impactos da deficiência hídrica nas culturas de forma geral, principalmente em função da capacidade de armazenamento, disponibilidade de água no solo e do regime pluviométrico (CASTRO & FARIAS, 2005).

O Nordeste brasileiro ocupa 1.600.000 km² do território nacional e desses, cerca de 1.500.000 km² são caracterizados como insuficientes em água, ou seja, a precipitação pluviométrica é abaixo de 800 mm por ano. Integrado a esse território encontra-se o Polígono das Secas (Figura 3), uma região semiárida de 940 mil km² que ocupa 62% do território Nordestino e abrange nove estados (DANTAS et al., 2002). Essa região predominantemente semiárida é comumente afetada por um regime irregular de precipitações, devido à insuficiência e à má distribuição das mesmas ao longo do ano. Tais características constituem fatores limitantes para o desenvolvimento urbano, industrial e agropecuário, comprometendo significativamente o rendimento das culturas e dificultando a instalação de sistemas eficientes para o armazenamento da água, o que intensifica ainda mais os efeitos sociais (SANTOS JÚNIOR et al., 2011).

A ocorrência de chuvas, por si só, não garante que as culturas de subsistência de sequeiro sejam bem sucedidas, e um veranico ou período seco dentro da quadra chuvosa pode ter impactos bastante adversos à agricultura da região. No semiárido é freqüente a ocorrência de períodos secos durante a estação chuvosa que, dependendo da intensidade e duração, provocam fortes danos nas culturas de subsistência (NAE 2005).

Aproximadamente 30 milhões de pessoas (15% da população nacional) que vivem no semiárido nordestino (86% da região), realizam cultivo de subsistência em sequeiro. Esses números fazem do conjunto dessas áreas, a região seca mais

populosa do mundo (MARENGO, 2008). Prejudicando ainda mais a situação, os ciclos de fortes estiagens e secas, que costumam atingir a região em intervalos que vão de poucos anos a até mesmo décadas, colaboram para desarticular de vez as já frágeis condições de vida de pequenos produtores e outros grupos mais pobres, tornando-se, muitas vezes, o incentivo que faltava para o abandono da região (MARENGO, 2008).



Figura 3: Delimitação da região semiárida e sub-úmida seca do Nordeste do Brasil associada ao “polígono das secas”. (Fonte: Adaptado de Brasil, 2005)

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; MEDEIROS et al., 2003), que combinado à baixa precipitação pluvial e à alta taxa de evaporação (LAMBERS, 2003), permitem que os sais não sejam lixiviados,

podendo ser acumulados em quantidades prejudiciais ao crescimento normal das plantas (RUIZ et al., 2006).

Estima-se que 6% do solo e 30% das áreas irrigadas do mundo já sofrem dos problemas de salinidade (UNESCO WATER PORTAL, 2007). A salinidade dos solos constitui um problema para a agricultura de regiões áridas e semiáridas do mundo, limitando o crescimento e a produtividade das culturas e ocasionando enormes prejuízos sócio-econômicos (MUNNS, 2002). No Brasil, estas áreas estão localizadas principalmente no Nordeste, onde 20 a 25% dos solos dessa região já se encontram salinizados (RIBEIRO et al., 2001). Por essas e outras razões, a redução dos níveis de salinidade e o aumento da tolerância das culturas ao sal, são resultados de grande relevância mundial (MUNNS, 2002).

Em muitas dessas áreas, a salinização decorre da natureza física e química dos solos, do regime pluvial e da alta evaporação. A drenagem restrita também contribui para a salinização dos solos, podendo influir na altura do lençol freático. A salinização do solo progride quando a quantidade de sais que nele é acumulada é maior que a quantidade removida pela água de drenagem (PIZARRO, 1985). De fato, a principal causa do aumento da salinização dos solos agrícolas têm sido as irrigações mal conduzidas e o manejo inadequado da adubação (BERNARDO et al., 2006).

Nesse contexto, as opções que se destacam para se evitar os problemas causados pela salinização dos solos e ainda disponibilizar água em quantidades suficientes para as plantas, são dentre outras: realizar drenagem adequada, lixiviar o excesso de sais, utilização de métodos de irrigação adequados às condições de salinidade do solo e da água de irrigação, diminuir o potencial osmótico da solução do solo e a retenção de água no solo, dispersar as partículas do solo e diminuir a capacidade de infiltração. Esses problemas, se não contornados, resultarão no decréscimo da produção agrícola de qualquer solo (BERNARDO et al., 2006).

Como a maioria dos processos anteriormente mencionados é dispendiosa, demorada e muitas vezes impraticáveis, principalmente para os pequenos produtores, a seleção de genótipos mais resistentes às condições de déficit hídrico e

seco, desenvolvido a partir do melhoramento genético, parece apresentar-se como a alternativa mais promissora (DANTAS et al., 2002).

2.4 EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO E SALINIDADE SOBRE AS PLANTAS

O estresse hídrico ocorre pela combinação da restrição da disponibilidade de água no solo e pelo aumento da demanda evaporativa do ar. Do ponto de vista agrônomo, a seca é um estresse hídrico definido por toda falta de água que impeça que a planta expresse o rendimento esperado em uma situação favorável, ou que possa afetar a qualidade do produto colhido. Nesse caso, uma planta tolerante é aquela capaz de atingir, em uma determinada condição de seca, uma produção tão elevada quanto poderia atingir em uma condição com adequada disponibilidade de água (GRIEU et al., 2008).

A seca afeta a absorção de água e nutrientes, a germinação da semente, o fechamento e abertura dos estômatos, a atividade fotossintética, a transpiração, a atividade enzimática e vários outros processos fisiológicos e metabólicos (CASTRO & FARIAS, 2005). Quando o déficit hídrico ocorre nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o primeiro sintoma da falta de água nos tecidos vegetais é a perda de turgor, com consequente redução do crescimento celular, na taxa de expansão foliar e em menor grau, na taxa de aparecimento das folhas (AGUIRREZABAL et al., 2001; CASADEBAIG et al. 2008).

Segundo Merrien (1992), as raízes são os órgãos mais afetados pela perda de turgor, seguido pelas folhas e pelo caule. A mesma intensidade de déficit hídrico resulta em diferentes consequências segundo o período do ciclo cultural em que a planta se encontra quando submetida ao estresse (GRIEU et al., 2008). Segundo Castro e Farias (2005), as fases de desenvolvimento do girassol, especificamente, mais sensíveis à deficiência hídrica compreendem o início da formação do capítulo ao início da floração, seguida da formação e enchimento de grãos, que são as fases de maior consumo de água pela cultura. Esse efeito no aparato fotossintético reduz

fortemente a translocação de fotoassimilados para os grãos, diminuindo o peso dos mesmos, a produtividade e o teor de óleo. O estresse hídrico propicia ainda a incidência e a severidade da deficiência de boro, mais do que qualquer outro micronutriente (CASTRO & FARIAS, 2005).

As plantas estão sujeitadas durante seu ciclo de vida a períodos frequentes de déficit hídrico e, como em muitas áreas do globo, ao solo com elevado teor de salinidade. A salinidade, determinada pelos efeitos do acúmulo excessivo dos sais solúveis, afeta negativamente, dentre outras características morfológicas, a germinação, o estande de plantas, o desenvolvimento vegetativo das culturas a produtividade e, nos casos mais graves, causa a morte das plântulas (DIAS et al., 2003; TAIZ & ZEIGER, 2009).

O estresse salino 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 (LARCHER, 2004). 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.

Em condições salinas, determinados processos como a síntese de proteínas, o metabolismo de lipídios e a fotossíntese são afetados. Uma das respostas iniciais é a redução da expansão da superfície foliar, que acompanha a intensificação do estresse (WANG & NIL, 2000). Esse efeito promove redução nas concentrações de carboidratos tornando-os indispensáveis para o desenvolvimento celular (ESTEVES & SUZUKI, 2008). Contudo, a habilidade das plantas em manter o *status* hídrico das células (ajustamento osmótico) e a integridade celular é uma vantagem adaptativa. O crescimento e a sobrevivência das plantas em condições de alta salinidade dependem, portanto, da adaptação a baixos potenciais hídricos e altas concentrações de sódio. Para tanto, três aspectos são relevantes à tolerância

das plantas, sobretudo ao sal: (1) homeostase iônica, (2) detoxificação e (3) controle do crescimento (ZHU, 2001).

Sabe-se que o crescimento e o desenvolvimento das culturas são resultados de fatores genéticos e ambientais e suas interações, e que a quantificação dos fatores ambientais possibilita a melhoria nas técnicas de produção (PORTO, 2007). Conforme Heckler (2002), as diferentes cultivares de uma cultura podem apresentar um comportamento diferenciado, uma em relação à outra, no crescimento, na produtividade e em outras características de interesse agrônomo. Entretanto, com a ocorrência de seca ou até mesmo sob salinidade, a planta possui mecanismos fisiológicos que permitem a manutenção de altos rendimentos (AGUIRREZABAL et al., 2001).

2.5 MECANISMOS DE RESISTÊNCIA – AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Os efeitos da seca e salinidade sobre a planta comumente resultam em maior concentração de solutos nas células, perda de turgor, mudança no volume celular, mudança na integridade das membranas, desnaturação de proteínas e uma série de outros componentes fisiológicos e moleculares (LAWLOR & CORNIC, 2002). Para contornar tais implicações, as plantas desenvolveram vários mecanismos para garantir a sua sobrevivência em ambientes estressantes. Tais estratégias incluem o acúmulo seletivo ou a exclusão de íons, o controle na absorção dos íons e seu transporte para as folhas, a compartimentalização dos íons nas células ou na planta como um todo, síntese de solutos compatíveis (ajustamento osmótico), mudanças na rota fotossintética, alteração na estrutura das membranas, indução de enzimas antioxidantes e hormônios vegetais, aumento no crescimento da raiz, folhas menores em tamanho e quantidade, dentre outros (PARIDA & DAS, 2005; LEI et al., 2006).

Dentre os importantes mecanismos de tolerância das plantas a condições de baixo potencial hídrico no ambiente radicular destaca-se o ajustamento osmótico

(OLIVEIRA et al., 2006; OLIVEIRA NETO, 2008). Esse mecanismo é definido geralmente como uma diminuição no potencial osmótico do fluido celular resultante de um aumento líquido no conteúdo de osmólitos no meio intracelular, impedindo a perda da água pela célula (BAJI et al., 2001; NAVARRO, 2007). Esse potencial de pressão é exigido para manter processos fisiológicos como a abertura estomática, a fotossíntese, sustentar as trocas gasosas e garantir a expansão celular durante o crescimento da planta (SERRAJ & SINCLAIR, 2002).

Os osmólitos intracelulares incluem os íons inorgânicos, que são absorvidos principalmente do meio em que as plantas se encontram, sendo esses sequestrados no vacúolo, e os solutos orgânicos, que são compartimentalizados no citoplasma, sintetizados e transportados para balancear o baixo potencial osmótico nos vacúolos (ANNICK, 2004).

Os solutos compatíveis podem se concentrar distintamente em diferentes partes da planta e cada um deles pode apresentar um efeito fisiológico diferente, ou seja, enquanto alguns podem proteger enzimas e estruturas órgão-específicas, outros podem contribuir para o balanço osmótico parcial da planta, evitando o acúmulo de solutos inorgânicos (GARCIA et al., 1997). Dentre os solutos compatíveis mais conhecidos na literatura destacam-se os açúcares solúveis, alcoóis de açúcares, compostos quaternários de amônio (ex. glicina-betaína), aminoácidos livres (ex. prolina) e ácidos orgânicos (ASHARAF & HARRIS, 2004; MUNNS, 2005). Entretanto, o acúmulo de solutos orgânicos para o ajustamento osmótico consumirá energia das substâncias carbono-sintetizantes, que são disponíveis e necessárias para o crescimento da planta ou outras atividades metabólicas (SONNEWALD, 2001).

De forma adicional, o acúmulo de aminoácidos e carboidratos solúveis tem sido estudado intensamente em plantas em condições de estresse salino e hídrico (AZEVEDO NETO et al., 2004), pois são os solutos orgânicos de maior contribuição para o potencial osmótico. Plantas com altas concentrações de prolina, manitol, ou outros produtos provenientes do metabolismo de açúcares, comumente estão associados à possível tolerância aos efeitos causados pelo déficit hídrico ou toxicidade por íons salinos (TAJI et al., 2004).

Entretanto, espécies diferentes possuem estratégias e habilidades diferentes de resistir e/ou tolerar a exposição ao déficit hídrico e à salinidade, sugerindo assim, que o acúmulo de solutos compatíveis varia de acordo com a espécie e até mesmo dentro da própria espécie, entre cultivares e genótipos (MUNNS & TESTER, 2008).

2.6 A PARTICIPAÇÃO DOS SOLUTOS COMPATÍVEIS

De forma natural, o citoplasma acumula osmólitos para adequar o balanço iônico nos vacúolos por esses compostos possuírem baixo peso molecular. Em concentrações normais, esse componente pouco intervém nas reações bioquímicas habituais das plantas (HASEGAWA et al. 2000, ZHIFANG & LOESCHER 2003).

No entanto, sob estresse, as plantas necessitam manter o seu potencial hídrico interno mais baixo do que o do solo, mantendo o seu turgor e retomando o fornecimento de água para o seu crescimento (TESTER & DAVENPORT, 2003). Em condição de seca fisiológica, os osmólitos são os principais responsáveis por resguardar as estruturas celulares e sustentar o balanço osmótico na planta (HASEGAWA et al., 2000).

O aumento na concentração de compostos orgânicos solúveis no citoplasma de plantas submetidas à deficiência hídrica ou toxicidade por íons, tem sido considerado um mecanismo utilizado para balancear os potenciais osmóticos entre o citoplasma e o vacúolo, evitando danos aos sistemas enzimáticos (MUNNS, 2002). Esses compostos podem ainda constituir uma fonte de energia metabólica (SERRANO & GRAXIOLA, 1994), proteger as estruturas e funções celulares (BARRETO, 1997), facilitar a retenção de água no citoplasma e permite o sequestro de Na^+ para o vacúolo ou apoplasto (ASHRAF & HARRIS, 2004).

As respostas metabólicas mais comuns ao nível celular são a síntese de solutos compatíveis e de enzimas (sistemas antioxidantes e chaperonas) relacionadas ao estresse (HASEGAWA et al., 2000; WANG et al., 2003). Quando

as defesas preliminares da planta são insuficientes para conter o acúmulo excessivo de Na^+ no citosol ou a deficiência hídrica, essas respostas são indispensáveis para proteger as funções metabólicas sob condições ambientais extremas (BLUMWALD et al., 2000). Compostos nitrogenados, açúcares e polióis, dentre eles a glicina-betaína e a prolina, são alguns exemplos de osmólitos que participam desse ajustamento (WANG & NIL, 2000).

O aumento nos níveis de carboidratos solúveis nas plantas foi frequentemente relatado como uma resposta à salinidade ou à seca, mesmo com diminuição significativa na taxa líquida da assimilação do CO_2 (MURAKEOZY et al. 2003). Carboidratos como açúcares (glicose, frutose e sacarose) e aminoácidos (glutamina e a aspargina), se acumulam na planta quando estas se encontram sob estresse salino, participando no processo de osmoproteção, ajustamento osmótico, armazenamento de carbono e combate aos radicais livres (PARIDA et al., 2002).

Altas concentrações de aminoácidos como alanina, arginina, glicina, serina, leucina e valina, junto com a prolina, além dos aminoácidos não protéicos como a citrulina e o ornitina, foram igualmente associadas a plantas submetidas a algum tipo de estresse (MANSOUR, 2000).

Estudos sobre o acúmulo de aminoácidos livres e outros compostos nitrogenados sob deficiência hídrica ou toxicidade por íons salinos são frequentes na literatura. A maioria das plantas frequentemente acumula compostos na forma de aminoácidos, amidas e proteínas, que atuam no ajuste osmótico, proteção de macromoléculas celulares, estocagem de nutrientes, manutenção do pH celular, desintoxicação de células e minimização dos efeitos das espécies reativas de oxigênio (ASHRAF & HARRIS, 2004), sendo este conteúdo variável entre as espécies (MANSOUR, 2000). Elshintinawy & Elshourbagy (2001) verificaram que os aminoácidos mais abundantes (cisteína, arginina, metionina) constituem cerca de 55% dos aminoácidos livres, sendo estes reduzidos quando as plantas foram estressadas com NaCl. Já valina, isoleucina, aspartato e prolina aumentaram em resposta ao estresse provocado por NaCl.

Um dos aminoácidos mais estudados e que se acumula nas células das plantas submetidas ao déficit hídrico e/ou estresse salino é a prolina (ERRABII et.

al., 2007). Muitas plantas acumulam prolina como um osmólito atóxico e protetor sob tais condições (MUTHUKUMARASAMY et al., 2000). O papel benéfico da prolina na tolerância ao estresse sofrido pela planta foi sugerido por estudos mais recentes, demonstrando que a prolina pode aumentar a tolerância das plantas a estresses abióticos (ABEDE et al., 2003). O acúmulo de prolina em muitas plantas representa, de forma geral, uma resposta ao estresse hídrico, e juntamente com compostos contendo nitrogênio, como é o caso dos aminoácidos, estão entre os principais solutos que se acumulam em resposta à salinidade (PARIDA & DAS, 2005; GARCÍA-SÁNCHEZ et al., 2007).

Entretanto, em estudos que utilizaram plantas transgênicas que produziam altas concentrações de prolina (ZHU, 2001), o valor desse aumento era relativamente baixo para configurar um possível ajuste osmótico, apesar da possibilidade de haver níveis mais elevados de prolina em tipos específicos de células ou em compartimentos subcelulares (XIONG & ZHU, 2002). Embora o papel exato do acúmulo de prolina sob estresse salino ou seca ainda seja discutido, sugere-se que o aumento nas concentrações desse aminoácido seja meramente um distúrbio às vias metabólicas causado pelos estresses do que efetivamente um mecanismo de tolerância (ERRABII et al., 2007).

2.7 A BIOTECNOLOGIA A SERVIÇO DA AGRICULTURA E DO MEIO AMBIENTE

A região do semiárido nordestino apresenta características climáticas particulares, onde a água da chuva, sobretudo, nem sempre é capaz de suprir a demanda hídrica necessária para o desenvolvimento das culturas, seja pelas baixas precipitações, ou pela irregularidade na distribuição das chuvas. Desta forma, para se obter o completo crescimento e desenvolvimento das plantas durante o seu ciclo de vida, de modo a expressar geneticamente o seu potencial produtivo, a adoção de tecnologias é fundamental (OLIVEIRA et al., 2010). Nesse sentido, os programas

de melhoramento genético tornam-se uma solução viável para a identificação e seleção de culturas e cultivares tolerantes a estresses devido ao alto custo das práticas de recuperação de solos com problemas acentuados de déficit hídrico e sais, e do tempo exigido para suas execuções.

A grande diversidade genética entre cultivares de girassol disponíveis no mercado torna essencial a realização de estudos que evidenciem suas características, pois poderão nortear a sua escolha em determinada região (MELLO et al., 2006). A obtenção de tais informações por meio de pesquisas tem sido decisiva para dar suporte tecnológico ao desenvolvimento das culturas, garantindo melhores produtividades e retornos econômicos competitivos.

Entre as várias tecnologias desenvolvidas para a produção do girassol, por exemplo, a escolha adequada de cultivares constitui um dos principais componentes do sistema de produção da cultura. Diante da existência de interação genótipos x ambientes, são necessárias avaliações contínuas, em redes de ensaios, a fim de determinar o desempenho agrônomo dos genótipos e sua adaptação às diferentes condições locais (PORTO, 2007).

A produção e a pesquisa de girassol no Brasil abrangem diferentes regiões com condições edafoclimáticas distintas. Essas atividades requerem que as observações, avaliações e sugestões a respeito da tecnologia de produção a ser adotada sejam realizadas durante todas as fases de desenvolvimento da planta a fim de compreender como o vegetal responde à seca, ao sal e aos estresses conjuntos. Essa iniciativa pode protagonizar as tendências biotecnológicas para aperfeiçoar o desempenho da agricultura, bem como o uso de recursos por parte das plantas, sob essas circunstâncias em um futuro próximo (CHAVES et al., 2009).

Nesse sentido, intensifica-se o interesse da comunidade científica pelas respostas fisiológicas de plantas a condições de estresses ambientais. O fato de muitos dos mecanismos utilizados ainda não serem completamente compreendidos, principalmente porque as condições de estresse afetam, simultaneamente, vários processos da fisiologia da planta (BRILHANTE, 2006), prejudica os avanços científicos relacionados ao aumento da produtividade e resistência aos fatores de estresse abiótico nas culturas agrícolas. Uma vez entendidas, as estratégias

fisiológicas e as características moleculares de respostas adotadas pela planta aos estresses ambientais, poderão ser utilizadas como ferramentas nos programas de melhoramento vegetal para a produção de plantas economicamente viáveis, que sejam tolerantes aos diversos tipos de complicadores ambientais como a seca e a salinidade (HASEGAWA et al., 2000; TESTER & DAVENPORT, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em duas partes. A primeira aborda o estudo da fenologia e avaliações agronômicas para dois genótipos de girassol sob duas condições edafoclimáticas específicas do Nordeste do Brasil. A segunda refere-se ao estudo fisiológico e bioquímico dos genótipos de girassol em resposta ao ambiente em que eles foram cultivados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

O experimento foi instalado em duas estações experimentais da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) representando microrregiões distintas do estado Norte-Riograndense durante os meses de Abril, Maio e Junho de 2011.

O cultivo realizado no município de Ipanguaçu-RN (IPÇ) representou a microrregião de clima semiárido do estado (Figura 4), com solo predominante aluvial eutrófico, localizado a 5°29'54" de latitude sul, 36°51'18" de longitude oeste e altitude de 16 m. O solo medianamente profundo, apresenta características de fertilidade natural alta, textura argilo/arenosa, imperfeitamente a moderadamente drenados em relevo plano, o que confere a esse tipo de solo uma maior disponibilidade hídrica nas suas camadas mais superficiais (SEMARH & IDEMA, 2008).

O cultivo realizado no município de Parnamirim-RN (PAR) representou a microrregião de clima tropical-úmido do estado (Figura 5), com solo predominante areno-quartzoso distrófico, localizado a 5°54'56" de latitude sul, longitude de 35°15'46" a oeste e altitude de 53 m. O solo profundo, apresenta características de fertilidade natural muito baixa, textura arenosa e excessivamente drenado em relevo plano, o que confere a esse tipo de solo baixa retenção de água e

necessidade de sistema de irrigação durante o período de estiagem (SEMARH & IDEMA, 2008).



Figura 4: Localização da área experimental, Ipanguaçu-RN, 2011.
Fonte: Google Earth, 2011.



Figura 5: Localização da área experimental, Parnamirim-RN, 2011.
Fonte: Google Earth, 2011.

Os dados referentes à análise do solo e as condições edafoclimáticas das duas microrregiões de cultivo estão expostos nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Análise completa dos solos das áreas experimentais¹.

Determinações	Resultados Analíticos	
	Ipanguaçu-RN	Parnamirim-RN
pH em água (1 : 2,5)	7,73	6,26
Cálcio (cmol _c .dm ⁻³)	9,19	1,63
Magnésio (cmol _c .dm ⁻³)	3,50	0,78
Alumínio (cmol _c .dm ⁻³)	0,00	0,00
Hidrogênio + Alumínio (cmol _c .dm ⁻³)	0,00	1,73
Fósforo (mg.dm ⁻³)	106	7
Potássio (mg.dm ⁻³)	95	118
Sódio (mg.dm ⁻³)	157	34
Cond. Elétrica Extrato Saturado (dS.m ⁻¹)	0,8042	0,3644
Densidade Global (kg.dm ⁻³)	1,32	1,34
Saturação c/ Sódio, % (PST)	6,44	3,19
Retenção de Umidade (1/3 de atmosfera)	18,6	3,16
Retenção de umidade (15 atmosferas)	5,67	2,41
Boro (mg.dm ⁻³)	-	4,64
Granulometria		
Areia (g.kg ⁻¹)	433	901
Argila (g.kg ⁻¹)	100	60
Silte (g.kg ⁻¹)	467	39
Classificação Textural	Franco	Areia

¹Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta – EMPARN, Natal/2011

Tabela 2: Médias das temperaturas mínima, média e máxima, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica em Ipanguaçu-RN e Parnamirim-RN durante o período de abril/2011 a junho/2011. EMPARN, 2011¹.

Ipanguaçu-RN					
Meses de 2011	Temperatura			Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)
	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)		
Abril	23,0	27,0	31,0	95	229,1**
Maio	21,0	27,0	31,0	75	108,7*
Junho	21,0	25,0	31,0	75	23,6*
Médias	21,6	26,3	31,0	81,6	120,4
Parnamirim-RN					
Meses de 2011	Temperatura			Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)
	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)		
Abril	23,0	25,0	31,0	95	269,7**
Maio	21,0	25,0	31,0	95	288,4**
Junho	21,0	25,0	29,0	95	359,5*
Médias	21,6	25,0	30,3	95	305,8

¹Dados obtidos por estações meteorológicas da EMPARN no Rio Grande do Norte

* Precipitação pluviométrica considerada normal para o período de estudo na região

** Precipitação pluviométrica considerada chuvosa para o período de estudo na região

Durante a condução do experimento, observou-se que os índices pluviométricos ficaram abaixo de 500 mm nas duas microrregiões de cultivo (Tabela 2), precipitação essa que, quando bem distribuída ao longo do ciclo, é considerada ideal para o cultivo de girassol. Nesse caso, devido às características peculiares do solo da microrregião de PAR quanto à drenagem excessiva, considerou-se a referida microrregião como indutora de déficit hídrico, enquanto que IPÇ, por características de solo contrárias a PAR, foi considerada a microrregião de aporte hídrico normal; ambas de acordo com as condições edafoclimáticas específicas de cada microrregião desse trabalho.

De acordo com a análise de solo, percebe-se também que os valores para o percentual de sódio trocável (6,44%) e para a condutividade elétrica do solo (0,80 dS.m⁻¹), encontrados no município de Ipanguaçu-RN (Tabela 1), não foram

suficientes para caracterizar o solo como sódico ou salino. Nesse caso, devido às características peculiares do solo em IPÇ, considerou-se essa microrregião como área experimental com íons salinos presentes e a microrregião de PAR como área experimental com íons salinos ausentes, por apresentarem características de solo contrárias à IPÇ.

3.2 MATERIAL VEGETAL

Para o desenvolvimento do estudo, plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.), correspondentes aos genótipos Helio 253 e Catissol 01, fornecidas pela HELIAGRO e pela EMPARN, respectivamente, foram obtidas a partir do semeio em casa de vegetação, em bandejas gerbox de 200 células, utilizando-se como substrato vermiculita durante o período de germinação. Sete dias após a emergência, as plântulas foram transferidas para suas respectivas áreas de cultivo, sendo que cada microrregião recebeu um lote de 600 plântulas por genótipo, selecionadas e padronizadas quanto à altura e ao número de folhas para posterior transplante (Figura 6).



Figura 6: Plântulas de girassol semeadas em bandejas gerbox com substrato vermiculita 7 (sete) dias após a emergência. Foto: Melo, Y. M., 2011.

3.3 CONDIÇÕES DE CULTIVO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Após a obtenção das plântulas em casa de vegetação, nas duas microrregiões estudadas, os genótipos foram transplantados e cultivados em duas parcelas (cada parcela representando um genótipo) com espaçamento de 1,50 m entre elas. Cada parcela se constituiu de 6 (seis) linhas com 6,0 m de comprimento, espaçadas entre si de 0,80 m, sendo consideradas úteis apenas as 4 (quatro) linhas centrais de cada parcela, eliminando-se as duas primeiras e últimas plantas de cada linha. Dentro da área útil, a seleção das plantas utilizadas para as análises agronômicas, fisiológicas e bioquímicas foi feita ao acaso dentro de cada parcela nas duas microrregiões. A distância entre plantas foi de 0,30 m na fileira, totalizando 21 covas/linha, onde foram cultivadas 03 (três) plântulas por cova com a realização do desbaste 10 (dez) dias após a sua transferência para o campo. A área total e útil da pesquisa correspondeu a aproximadamente 80 e 30 m², respectivamente (Figura 7).

O preparo do solo se deu com aração e gradagem, seguido do sulcamento em linhas com profundidade de 0,25 m, onde foi realizada a adubação de fundação no plantio e de cobertura após 30 dias, de acordo com a análise de solo e recomendação nutricional para a cultura em cada microrregião especificamente (Tabela 3). O controle de doenças e pragas foi realizado conforme as necessidades da cultura, bem como o controle de plantas daninhas que foi realizado manualmente com enxadas nas parcelas e entre os canteiros.

Para reproduzir um sistema de cultivo próximo ao adotado pelos agricultores locais, o experimento foi conduzido sem o auxílio de um sistema de irrigação e a lâmina de água diária para o cultivo do girassol foi suprida de acordo com a precipitação pluvial dos meses de cultivo (Tabela 2).

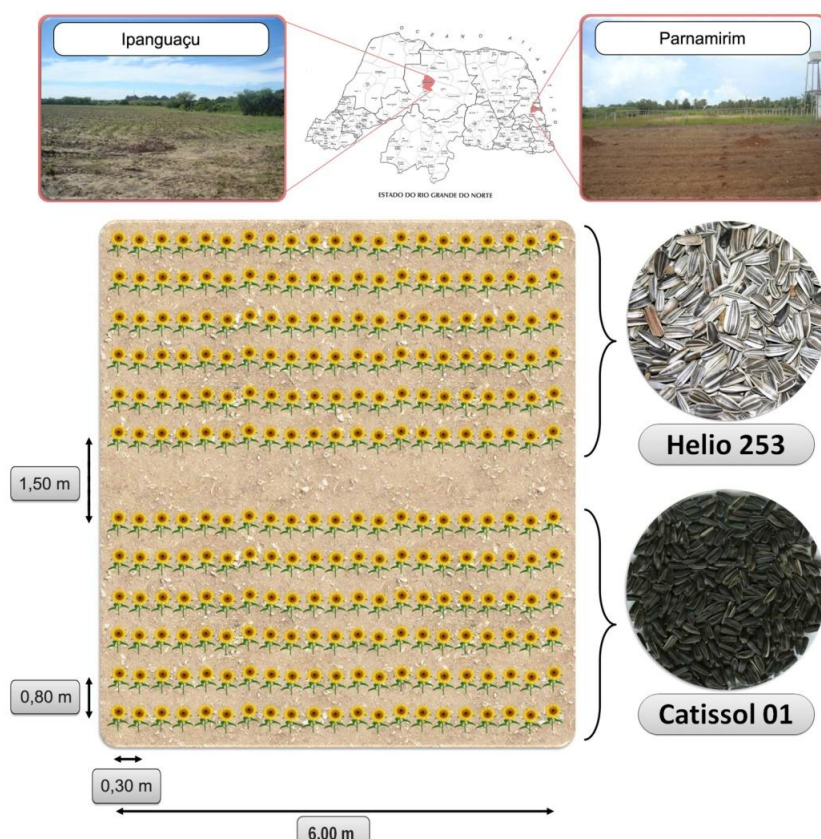


Figura 7: Representação esquemática das parcelas experimentais dos genótipos de girassol Helio 253 e Catissol 01 cultivados nas microrregiões de Ipanguaçu-RN e Pamamirim-RN. EMPARN, 2011.

Tabela 3: Recomendações para adubação de girassol¹ nas duas regiões de cultivo.

Nutrientes	Unidade	Idade (DAE)			
		IPÇ		PAR	
		Plantio	30	Plantio	30
Esterco de Curral	(L/planta)	-	-	-	-
P ₂ O ₅	(kg/ha)	-	-	60	-
FTE BR 08	(kg/ha)	30	-	40	-
N	(kg/ha)	50	150	10	30
K ₂ O	(kg/ha)	50	-	50	-
Boro	(kg/ha)	1	-	1	-

¹Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta – EMPARN, Natal/2011.

3.4 CARACTERES AVALIADOS

3.4.1 Abordagem agronômica

Para a avaliação fenológica dos genótipos, foram consideradas algumas características agronômicas. A data da floração inicial (DFI) foi considerada o período em que 50% das plantas na parcela apresentaram pétalas amarelas caracterizada pelo Estádio R4 com as primeiras flores liguladas na coloração amarela (Figura 8A). A data da floração plena (DFP) foi considerada no período em que pelo menos 50% das flores do capítulo estivessem abertas, correspondendo ao Estádio R5.5 (Figura 8B). Já a data da maturação fisiológica (DMF) foi considerada quando 90% das plantas da parcela apresentaram capítulos com brácteas de coloração entre amarelo e castanho, com aproximadamente 30% de umidade nos aquênios (Figura 8C).

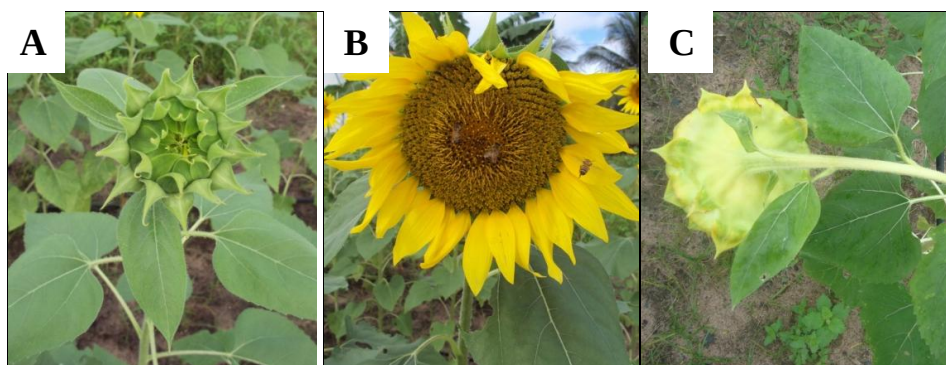


Figura 8: Estádios de desenvolvimento dos genótipos de girassol nas duas microrregiões de cultivo representando o estágio R4 (A), R5.5 (B) e R9 (C). Foto: Melo, Y. L., 2011.

Durante a análise dos indicadores de crescimento/desenvolvimento e rendimento agrônomo, foram consideradas as médias de 30 (trinta) plantas competitivas na área útil de cada parcela, em plena floração. Para aferir a altura (AP), as plantas foram medidas a partir do nível do solo até a inserção do capítulo.

O número de folhas (NF) foi determinado a partir das folhas ainda com coloração esverdeada. O tamanho do capítulo foi tomado pelo diâmetro dos capítulos (DC) no mesmo conjunto de plantas. O peso de 1000 aquênios e rendimento dos grãos (RG) foi expresso em gramas e kg/ha, respectivamente, na área útil de cada parcela.

3.4.2 Abordagem fisiológica e bioquímica

Para a coleta e análise do material estudado foram retirados, de cada genótipo, em suas respectivas microrregiões de cultivo, folhas de 3 (três) diferentes regiões – basal, mediana e apical – de 10 (dez) plantas competitivas na área útil de cada parcela (Figura 9). As plantas em plena floração foram coletadas no 50º dia após a emergência (DAE) das plântulas, correspondendo aproximadamente a metade do ciclo fenológico da cultura para as duas microrregiões em estudo. O material vegetal foi devidamente acondicionado em ambiente refrigerado e levado para análise laboratorial em seguida.

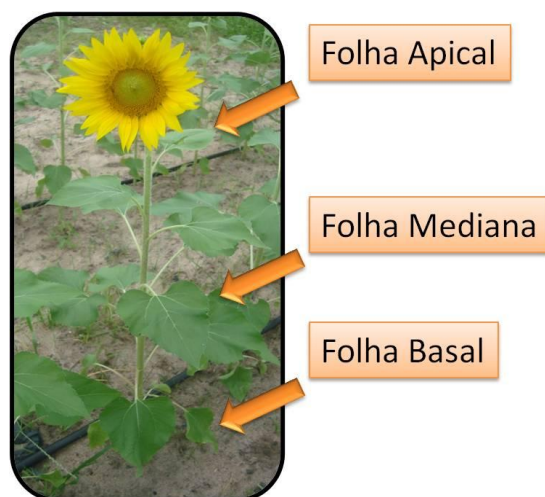


Figura 9: Localização das folhas apicais, medianas e basais em girassol (*Helianthus annuus* L.). Foto: Melo, Y. L., 2011.

3.4.2.1 INDICADORES DE ESTRESSE HÍDRICO

Conteúdo Relativo de Água e Percentual de Umidade

O Conteúdo Relativo de Água (CRA) e o percentual de Umidade (%U) foram determinados segundo Irigoyen et al. (1992) e Slavick (1974) com pequenas modificações, respectivamente. Para essas análises, as folhas foram coletadas e pesadas para determinação da massa fresca (MF) em balança semi-analítica. Em seguida, o material vegetal foi transferido para 100 mL de água destilada sob temperatura ambiente de $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 6 (seis) horas. Decorrido o tempo, as folhas foram coletadas, secas com papel toalha e suas massas foram aferidas para obtenção da massa túrgida (MT). Para obtenção da massa seca (MS), o material vegetal foi transferido para sacos de papel e secos em estufa a 75°C durante 72 h. O cálculo do CRA foi realizado com base na expressão matemática $\text{CRA} = (\text{MF} - \text{MS} / \text{MT} - \text{MS}) \times 100$ e o percentual de umidade foi determinado utilizando-se a relação $\%U = [(\text{MF} - \text{MS}) / \text{MF}] \times 100$.

Vazamento de Eletrólitos

O Vazamento de Eletrólitos (VE) é considerado uma medida indireta para aferir o grau de dano causado às membranas do tecido vegetal (Lutts et al., 1996). Assim, as folhas coletadas foram transferidas para frascos contendo 200 mL de água destilada hermeticamente fechados. Os frascos foram deixados em repouso sob temperatura ambiente de $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 6 h, sob agitação ocasional. Após esse período, com o auxílio de um condutivímetro (Figura 10A), foi estabelecida 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 h. Após resfriamento do frasco à temperatura ambiente, a segunda leitura (L2) da condutividade elétrica da solução foi realizada (Figura 10B). Através da expressão

$VE (\%) = (L1 / L2) \times 100$, foi possível calcular o percentual de dano às membranas.

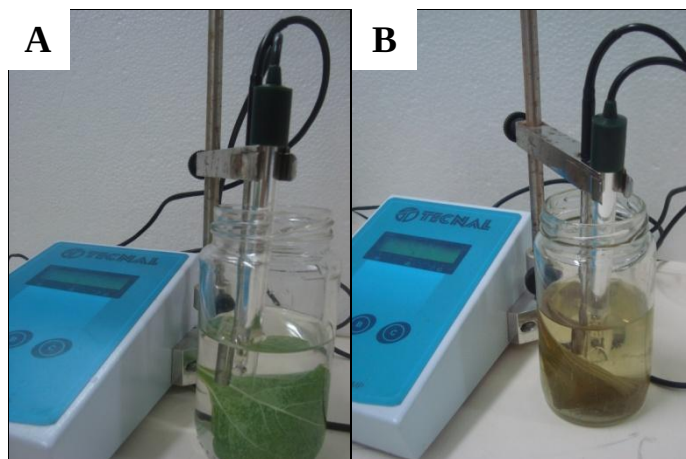


Figura 10: Determinações da primeira leitura – L1 (A) e segunda leitura – L2 (B) para o cálculo de VE em condutivímetro digital. Foto: Melo, Y. L., 2011.

3.4.2.2 INDICADORES DE ESTRESSE IÔNICO

Determinação da concentração de Na^+ , K^+ e Cl^-

Para determinar a contribuição relativa de solutos inorgânicos no ajustamento osmótico de plantas submetidas às condições ambientais nas microrregiões, a concentração de sódio e potássio foi determinada por fotometria de chama. Para tanto, 50 mg da farinha do tecido vegetal das folhas foi diluído em 20 mL de água deionizada em banho-maria a 100 °C por 1 h. O extrato obtido foi centrifugado e o sobrenadante foi analisado em fotômetro de chama (Micronal B462) para determinação dos conteúdos de Na^+ e K^+ .

A concentração de cloreto foi determinada segundo Malavolta et al., (1997). Tecidos de folhas (100 mg) foram submetidos à extração com 25 mL de água deionizada com agitação ocasional durante 30 min. Em seguida, alíquotas de

20 mL do extrato foram filtradas em papel de filtro e adicionadas 1 mL da solução indicadora de cromato de potássio (K_2CrO_4) 5% (m/v). Cada amostra foi titulada lentamente com nitrato de prata ($AgNO_3$) 28 mM em bureta automática até a viragem do indicador através da formação do precipitado de Ag_2CrO_4 (coloração marrom pálido persistente). Cada 1 mL de nitrato de prata gasto na titulação correspondeu a 2,5 mg de cloreto em 100 mg de matéria seca. Na ocasião, foi utilizado branco com 20 mL de água deionizada adicionada de indicador mais algumas gotas de Ag_2NO_3 até obtenção da coloração marrom pálido. O volume do branco foi subtraído de cada amostra.

3.4.2.3 INDICADORES DE ESTRESSE OSMÓTICO

Extração das amostras

As amostras foram obtidas a partir de folhas das diferentes regiões das plantas, para cada parcela, nas diferentes microrregiões de cultivo. As folhas foram previamente pesadas para obtenção da massa fresca e distribuídas em frascos contendo 200 mL de água destilada. Os frascos foram hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 100 °C por 60 min. Para obtenção da massa seca foi utilizada a equação do %U = $[(MF - MS) / MF] \times 100$. A solução líquida restante no frasco foi filtrada e armazenada a -18°C para posterior dosagem dos osmorreguladores.

Açúcares Solúveis Totais (AST)

A concentração de AST foi determinada pelo método de “fenol-sulfúrico” descrito por Dubois et al. (1956). Alíquotas de 100 µL da amostra foram transferidas para tubos de ensaio convencionais, completadas com 400 µL de água destilada, acrescido de 500 µL de fenol a 5% (m/v) e agitados vigorosamente. Para

iniciar a reação, foi adicionado de uma única vez e no centro do tubo 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado. A homogeneização, em agitador vortex, foi realizada logo após a adição de H₂SO₄ para usar o calor da reação exotérmica da hidrólise ácida para uma melhor homogeneização. Posteriormente os tubos permaneceram por 20 min em temperatura ambiente para leitura em espectrofotômetro a 490 nm.

As concentrações de AST 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 mg . g⁻¹ de massa seca.

Açúcares redutores (AR) e não-redutores (ANR)

A concentração de ANR foi determinada conforme o método de Morris (1948). Amostras de 100 µL foram transferidas para tubos de ensaio, 100 µL de KOH 30% (v/v) e 300 µL de água destilada deionizada foram acrescentados e os tubos foram aquecidos a 100 °C por 10 min. Após resfriamento, 1,5 mL de reagente de antrona (100 mg de antrona em 50 mL de H₂SO₄ concentrado) foi adicionado em cada tubo e as leituras foram realizadas a 620 nm. A concentração de ANR foi determinada por comparação com curva-padrão de sacarose, com seus resultados expressos em mg . g⁻¹ de massa seca. Para estimar os AR foi utilizada a equação matemática: AR = AST – ANR, expressos em mg . g⁻¹ de massa seca.

Aminoácidos livres totais (AALT)

A concentração de AALT foi determinada segundo o método descrito por Peoples et al. (1989) com modificações. Alíquotas de 100 µL do extrato foram dispostas em tubos de ensaio e acrescidas de 400 µL de água destilada. Em seguida, foram adicionados 250 µL de solução tampão citrato 200 mM (pH 5,0) e 250 µL de reagente de ninhidrina (KCN 0,1 mmol L⁻¹ e ninhidrina 5% (m/v) em metóxi-etanol). Os tubos foram hermeticamente fechados, agitados em vórtex e incubados em banho-maria a 100 °C por 15 min. A reação da solução foi interrompida imediatamente com banho de gelo. Por fim, foram adicionados à

solução 1,5 mL de etanol 50% (v/v). Após nova agitação em vortex, os tubos permaneceram por 20 min em temperatura ambiente para posterior leitura em espectrofotômetro a 570 nm.

As concentrações de AALT foram determinadas com base em curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de uma solução estoque de L-glutamina. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ de massa seca.

Prolina livre (PRO)

A concentração de PRO foi determinada segundo metodologia descrita por Bates (1973) com modificações. Em tubos de ensaio convencionais, foram dispensadas alíquotas de 1 mL do extrato obtido e foi adicionado 1 mL do reagente de ninhidrina ácida (1 g de ninhidrina em 24 mL de ácido acético glacial e 16 mL ácido fosfórico 6 M). Após homogeneização, os tubos foram hermeticamente fechados, agitados em vórtex e incubados em banho-maria a 100 °C por 1 h. Decorrendo o período, a reação foi interrompida imediatamente com banho de gelo. Em seguida, foram adicionados à solução 2 mL de tolueno e agitados vigorosamente por 20 s. Após estabilização, duas fases foram estabelecidas, sendo a fase aquosa superior formada pelo tolueno e o cromóforo de coloração avermelhada. Esta foi recuperada e submetida à leitura em espectrofotômetro a 520 nm.

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

3.4.3 Análise estatística

Para as análises estatísticas foram utilizados os programas SISVAR e XLSTAT. Para comparar os genótipos em cada local de cultivo separadamente, bem como os efeitos dos locais de cultivo sobre os genótipos e a diferenças na localização da folha na planta (apical, mediana e basal), foi utilizado o teste de t-Student ($p > 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INDICADORES DE CRESCIMENTO, RENDIMENTO AGRONÔMICO E STATUS HÍDRICO DE GENÓTIPOS DE GIRASSOL EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO RN.

Ao analisar a data de floração inicial (DFI) dos dois genótipos nas duas microrregiões de cultivo separadamente, observou-se uma antecipação dessa fase do desenvolvimento, caracterizada como sub-período emergência-floração, nos dois genótipos estudados, na microrregião com maior disponibilidade hídrica, representada pelo município de IPÇ (Tabela 4). Apesar do genótipo Catissol 01 ter apresentado maior variação nos períodos que compreendem as fases de desenvolvimento da cultura, nas duas microrregiões de cultivo, a antecipação do período DFI possivelmente repercutiu na duração dos demais sub-períodos, data de floração plena (DFP) e a data de maturação fisiológica (DMF), também para o genótipo Helio 253. Resultados semelhantes quanto à influência da DFI sobre os outros períodos reprodutivos do girassol foram discutidos por MASSIGNAN & ANGELOCCI (1993).

Tabela 4: Principais fases reprodutivas do desenvolvimento dos genótipos de girassol Helio 253 e Catissol 01 nas microrregiões de Ipanguaçu-RN (IPÇ) e Parnamirim-RN (PAR): Data da Floração Inicial (FDI), Data da Floração Plena (DFP), Data da Maturação Fisiológica (DMF).

Genótipos	Microrregiões de Cultivo					
	IPÇ			PAR		
	DFI	DFP	DMF	DFI	DFP	DMF
Catissol 01	58 DAE	67 DAE	87 DAE	65 DAE	74 DAE	95 DAE
Helio 253	56 DAE	65 DAE	85 DAE	58 DAE	68 DAE	91 DAE

A baixa precipitação pluviométrica ocorrida no município de PAR (Tabela 2) pode ter sido uma das causas da prorrogação do período DFI, visto que a deficiência hídrica pode aumentar ou diminuir a duração do sub-período emergência-floração dependendo da evapotranspiração potencial da cultura (MASSIGNAN & ANGELOCCI, 1993). Outro fator que possivelmente teve influência sobre a prorrogação da DFI, nos dois genótipos no município de PAR, foi a composição arenosa do solo (Tabela 1) que, nas condições do estudo, pode não ter permitido uma maior disponibilidade hídrica para a planta nas camadas mais superficiais (SMIDERLE et al., 2005).

Massignan & Angelocci (1993); Smiderle et al. (2005) e Rondanini et al. (2003), ainda observaram que a temperatura do ar, quando muito elevada, exerce forte influência sobre o período da DFI em alguns genótipos de girassol, causando estresse às plantas. Nesse trabalho, devido à baixa variação de temperatura nos meses de cultivo, nos dois municípios estudados (Tabela 2), as diferenças entre os períodos de desenvolvimento dos genótipos parecem não sofrer muita influência da temperatura. Assim, as diferenças na duração do período de crescimento vegetativo, nos dois municípios estudados, parecem depender, principalmente, do genótipo e da disponibilidade hídrica nas regiões de cultivo sob tais condições (SMIDERLE et al. 2005).

Outra forma de se estudar possíveis influências do ambiente sobre o desenvolvimento das plantas são os indicadores de crescimento/desenvolvimento e rendimento agrônomo. Alguns desses indicadores são particularmente sensíveis ao efeito da pressão osmótica, tornando variáveis como altura média, número de folhas, diâmetro do capítulo e rendimento de grãos, bons critérios para a avaliação da severidade do estresse hídrico, por exemplo, e da capacidade da planta de superá-lo (LARCHER, 2004).

Ao avaliar a altura e o diâmetro do capítulo dos dois genótipos (Tabela 5), observou-se que as maiores médias foram obtidas no município de IPÇ, não havendo diferença significativa entre os genótipos Catissol 01 e Helio 253. As médias dos genótipos para essas variáveis se aproximaram dos valores obtidos por redes de ensaios desenvolvidas, com diferentes cultivares de girassol, por Lira et al.

(2007) em condições edafoclimáticas semelhantes às desse estudo, no mesmo município.

Tabela 5: Indicadores de crescimento e rendimento agrônomo em genótipos de girassol nas duas microrregiões de cultivo.

Variáveis	Microrregião	Genótipos	
		Catissol 01	Helio 253
Altura (cm)	IPÇ	134,1 A*a	130,0 Aa
	PAR	89,2 Ba**	85,4 Ba
Diâmetro do Capítulo (cm)	IPÇ	19,1 Aa	20,9 Aa
	PAR	15,7 Bb	17,9 Ba
Número de Folhas (unid.)	IPÇ	20,0 Ab	24,1 Aa
	PAR	18,2 Ba	18,0 Ba
Massa de 1000 Sementes (g)	IPÇ	77,88 Aa	75,45 Aa
	PAR	53,56 Bb	61,30 Ba
Rendimento de Grãos (kg/ha)	IPÇ	2.026,80 Aa	1.934,50 Aa
	PAR	603,32 Bb	933,07 Ba

* Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da mesma coluna, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

** Médias acompanhadas da mesma letra em minúsculo, dentro da mesma linha, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

A disposição das características do solo em IPÇ pode ter permitido uma maior disponibilidade hídrica nas camadas mais superficiais do solo quando comparado ao município de PAR. Dessa forma, as maiores médias para a altura e diâmetro do capítulo, obtidas tanto para Catissol 01 quanto para Helio 253 em IPÇ, podem estar relacionadas à disponibilidade hídrica para o sistema radicular, pois permite o aumento do fluxo de massa e a difusão dos nutrientes no solo. Tal efeito favorece a taxa fotossintética nas folhas e a produção de carboidratos, incrementando a produção de massa seca da parte aérea das plantas (CRUSCIOL, 2001). Resultados semelhantes foram conseguidos por Silva et al. (2007), que

observaram aumento relativo no diâmetro dos capítulos em função da lâmina de água aplicada.

Em PAR, por apresentar um solo excessivamente drenado, o possível déficit hídrico provavelmente provocou redução no crescimento, vigor e ganho de massa nos genótipos estudados. Esse fenômeno ocorre devido ao suprimento de água se dar em quantidades inferiores às requeridas pela planta, abaixando o componente de potencial de pressão do protoplasto sobre a parede da célula, resultando em diminuição de turgor (XIONG & ZHU, 2001).

Os dados obtidos nesse trabalho corroboram com os de Gomes et al. (2003), que constataram, em condições de deficiência hídrica, que as plantas exibiram capítulos de menores diâmetros. Fonseca et al. (2000), estudando características agrônomicas do girassol em clima tropical, também observaram que ciclos fenológicos mais longos, semelhante ao ocorrido em PAR, reduzem a altura e o diâmetro dos capítulos. Os resultados de redução dessas variáveis corroboram com os obtidos por Kirnak et al. (2001), Barros Junior et al. (2004) e Correia & Nogueira (2004) que, pesquisando os efeitos da disponibilidade hídrica em berinjela, mamona e amendoim, respectivamente, constataram reduções significativas na altura da planta e diâmetro do caule e na taxa relativa de expansão foliar sob deficiência de água.

O número de folhas seguiu a mesma tendência da altura e do diâmetro do capítulo, apresentando maiores médias, tanto para o genótipo Catissol 01 quanto para Helio 253, no cultivo realizado no município de IPÇ. A maior disponibilidade hídrica encontrada nessa microrregião de cultivo pode ter garantido a manutenção de processos bioquímicos e moleculares que necessitam de aporte hídrico para o seu desenvolvimento normal. Processos importantes como síntese de parede celular e de membranas, divisão celular e síntese protéica são alguns dos mecanismos dependentes de água e que interferem diretamente na formação de um novo tecido foliar (BURSSENS et al., 2000). A deficiência de água pode limitar não apenas o tamanho, como visto anteriormente durante a análise da altura do girassol, mas também o número de folhas por diminuir o número e a taxa de crescimento dos ramos e induzir a senescência foliar (SANCHEZ-BLANCO et al., 2002; TAIZ &

ZEIGER, 2009). Resultados que demonstram reduções no número de folhas sob deficiência hídrica foram obtidos por Correia & Nogueira (2004) em amendoim.

Ao analisar os dados referentes à massa de 1000 aquênios, nas duas microrregiões de cultivo, verificou-se que as maiores médias foram obtidas no município de IPÇ em relação à PAR, para os dois genótipos estudados (Tabela 5). As maiores médias encontradas em IPÇ podem estar relacionadas ao aporte hídrico disponível para essas plantas, principalmente na fase que compreende o enchimento de grãos (CASTIGLIONE et al., 1997). Gomes et al. (2003), trabalhando com a cultivar de girassol M742, constataram aumento na produção de aquênios quando a disponibilidade hídrica é maior. Em outro ensaio com a cultura do girassol (híbrido Morgan 738), Castro et al. (2006) também constataram que o estresse hídrico influenciou na redução da massa dos aquênios. Os valores médios obtidos em IPÇ foram semelhantes aos conseguidos por Lira et al. (2006) na mesma microrregião, utilizando os genótipos Catissol 01 e Helio 256.

Para Amorin et al. (2008), existem correlações significativas entre a produtividade de aquênios e as características relacionadas ao diâmetro do capítulo e massa de mil aquênios, tornando necessário a seleção de genótipos que possuem capítulos de maiores diâmetros para assegurar elevadas produtividades. Lobo & Grassi Filho (2007) afirmam que tais componentes de produção apresentam um efeito diretamente positivo sobre a produtividade de aquênios, sendo assim, um componente de produção de grande importância na comparação de cultivares de girassol. Tal correlação pode justificar, nesse trabalho, os maiores valores encontrados para o rendimento de grãos na microrregião de IPÇ.

A ocorrência de menores valores de rendimento de grãos em PAR pode estar relacionada à redução no tamanho dos capítulos, indicando assim, limitações no desenvolvimento e, conseqüentemente, tendo grande influência na produção. Essas correlações também foram observadas por Jain et al. (1978). A redução do rendimento de grãos em PAR pode ainda ser atribuída, dentre outros fatores, à grande exigência de água pela cultura na fase de maturação fisiológica e à classificação textural do solo (arenosa), que dentre suas características, possui baixa capacidade de retenção de água. Dessa forma, o possível déficit hídrico pode

ter impossibilitado a manifestação de todo o potencial produtivo da cultura, visto que o girassol possui respostas positivas à reposição de água no solo, que incrementa a produtividade final e, em situações de limitada disponibilidade hídrica, a produção de grãos é comprometida (BALDO et al., 2009).

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). Analisando o CRA das folhas, pode-se observar que no cultivo realizado na microrregião PAR, tanto o genótipo Catissol 01 quanto o Helio 253, apresentaram significativas reduções, de 13 e 17% respectivamente, quando comparado à microrregião IPÇ (Tabela 6). Os CRA dos dois genótipos, quando cultivados nas mesmas microrregiões, não apresentaram diferenças significativas entre eles. O %U não apresentou efeitos significativos para os dois genótipos, independente da microrregião de cultivo, com seus valores variando de 83 a 85% (Tabela 6).

Tabela 6: Indicadores de status hídrico e dano às membranas dos dois genótipos de girassol cultivados nas duas microrregiões de cultivo.

Variáveis	Microrregião	Genótipos	
		Catissol 01	Helio 253
Conteúdo Relativo de Água (%)	IPÇ	76,6 Aa	79,6 Aa
	PAR	66,7 Ba	66,0 Ba
Umidade Relativa (%)	IPÇ	84,6 Aa	85,3 Aa
	PAR	85,2 Aa	83,5 Aa
Vazamento de Eletrólitos (%)	IPÇ	16,8 Aa	19,3 Aa
	PAR	10,8 Ba	8,8 Bb

* Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da mesma coluna, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

** Médias acompanhadas da mesma letra em minúsculo, dentro da mesma linha, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

Durante o experimento, observou-se que os índices pluviométricos médios tanto na microrregião de IPÇ (120,4 mm) quanto em PAR (305,8 mm) ficaram abaixo de 500 mm. Para Castro & Farias (2005), apesar das exigências hídricas da cultura do girassol ainda não estarem bem esclarecidas e de constatações da alta tolerância dessa cultura ao estresse hídrico, estudos demonstram que precipitações entre 400 e 500 mm, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao potencial. O provável déficit hídrico, ocorrido em consequência da baixa precipitação, aliada à baixa capacidade de campo do solo em PAR, pode ter causado mudanças no volume celular e no turgor das células vegetais, reduzindo o CRA e afetando também suas correlações com processos fisiológicos nas plantas (JING & HUANG, 2002).

Resultados semelhantes, com relação à redução do CRA em condições de déficit hídrico, foram encontrados por Costa (2000) e Atteya (2003) em *Zea mays* L. e Ünyayar et al. (2004) em *Helianthus annuus* L. Assim, nas condições ambientais desse trabalho, o déficit hídrico observado na microrregião de PAR, representado por menores médias no CRA do Helio 253 e Catissol 01, provavelmente foi o fator determinante para as reduções observadas nos índices de crescimento/desenvolvimento e rendimento agrônômico para os dois genótipos de girassol estudados.

As membranas celulares são uma das primeiras estruturas afetadas pelo estresse salino e hídrico em condições típicas de ambiente semiárido. O grau de danos às membranas pode ser estimado indiretamente através da condutividade elétrica, que mede o vazamento de eletrólitos das células para a solução aquosa (BAJJI et al., 2001). Nesse contexto, quando comparado as duas microrregiões de cultivo, observou-se que os maiores índices de vazamento de eletrólitos (VE) foram obtidos na microrregião de IPÇ, para os dois genótipos, sem diferenças significativas entre eles. Os dados observados em IPÇ podem estar relacionados ao maior teor de sais presentes no solo dessa microrregião em relação à PAR (Tabela 1), pois o excesso de Na^+ e principalmente o excesso de Cl^- no protoplasma, causam toxicidade e ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico provocando alterações na estrutura de membranas (YOKOI et. al., 2002).

Íons salinos como o Na^+ são rapidamente detectados pelas membranas das células vegetais, mas tal mecanismo sensorial de resposta a adição do Na^+ ao ambiente celular e a mudança na pressão osmótica, ainda não é bem compreendido (TRACY et al., 2008). De fato, sob salinidade, há uma menor absorção de Ca^+ pelas células, permitindo que o Na^+ seja incorporado à estrutura da membrana plasmática, o que reduz sua seletividade, aumenta a sua fluidez e permite o efluxo de íons, principalmente o K^+ (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Na microrregião de PAR, por apresentar baixas concentrações salinas no solo, o déficit hídrico pode ter sido o fator determinante para a ocorrência de danos às membranas celulares, apesar do evidente efeito dos sais, nessas condições, parecerem ser preponderantes ao efeito osmótico do déficit hídrico sobre as estruturas das membranas celulares. Resultados relacionados à indisponibilidade hídrica e o seu efeito sobre o dano às membranas celulares foram descritos por Faria (2010) e Lima Melo (2011), em folhas de mamoneira e cártamo, respectivamente. Sabe-se ainda que, os danos causados às membranas estão associados também ao ataque de espécies reativas de oxigênio a outras moléculas como as proteínas de membrana (QUEIROZ et al., 2002).

4.2 INDICADORES FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE ESTRESSE IÔNICO E AJUSTAMENTO OSMÓTICO EM GENÓTIPOS DE GIRASSOL EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO RN.

O efeito da salinidade nas propriedades físicas do solo tem caráter positivo ou negativo para as plantas, dependendo da concentração e da composição dos sais (RIBEIRO et al., 2009). Nesse trabalho, os maiores valores para o percentual de sódio trocável (6,44%) e para a condutividade elétrica do solo ($0,80 \text{ dS.m}^{-1}$), encontrados na microrregião de IPÇ (Tabela 1), não foram suficientes para caracterizar o solo como sódico ou salino (PIZARRO, 1985). Contudo, as concentrações de sais presentes nos solos, tanto da microrregião de IPÇ quanto PAR, podem interferir diretamente nos indicadores de estresse iônico, representados pelos teores médios dos íons Na^+ , Cl^- e K^+ , nas folhas das plantas (Figura 11).

Nas folhas das plantas cultivadas na microrregião de IPÇ, observou-se que tanto para o genótipo Helio 253 quanto para Catissol 01, os valores médios das concentrações de K^+ foram significativamente inferiores aos valores médios obtidos para esse íon em PAR, independente da localização da folha na planta (Figura 11A e B). Os decréscimos observados na acumulação de K^+ , nas folhas dos dois genótipos na microrregião de IPÇ, podem estar relacionados ao aumento no efluxo deste nutriente em virtude, provavelmente, de uma permeabilidade maior da membrana das células, por efeito do íon Na^+ , que também reduz a seletividade da membrana (MORAIS et al., 2007). Esse comportamento corrobora com os dados obtidos para a variável VE (Tabela 5). O maior percentual de VE infere também, maior permeabilidade ocorrida nas células das plantas em IPÇ, provavelmente em decorrência à troca do Ca^{2+} por Na^+ nas membranas vegetais (MEGEL & KIRKBY, 2001). O efeito do cloreto de sódio sobre os teores de potássio também tem sido atribuído ao antagonismo existente entre os cátions K^+ e Na^+ (FERNANDES et al., 2002).

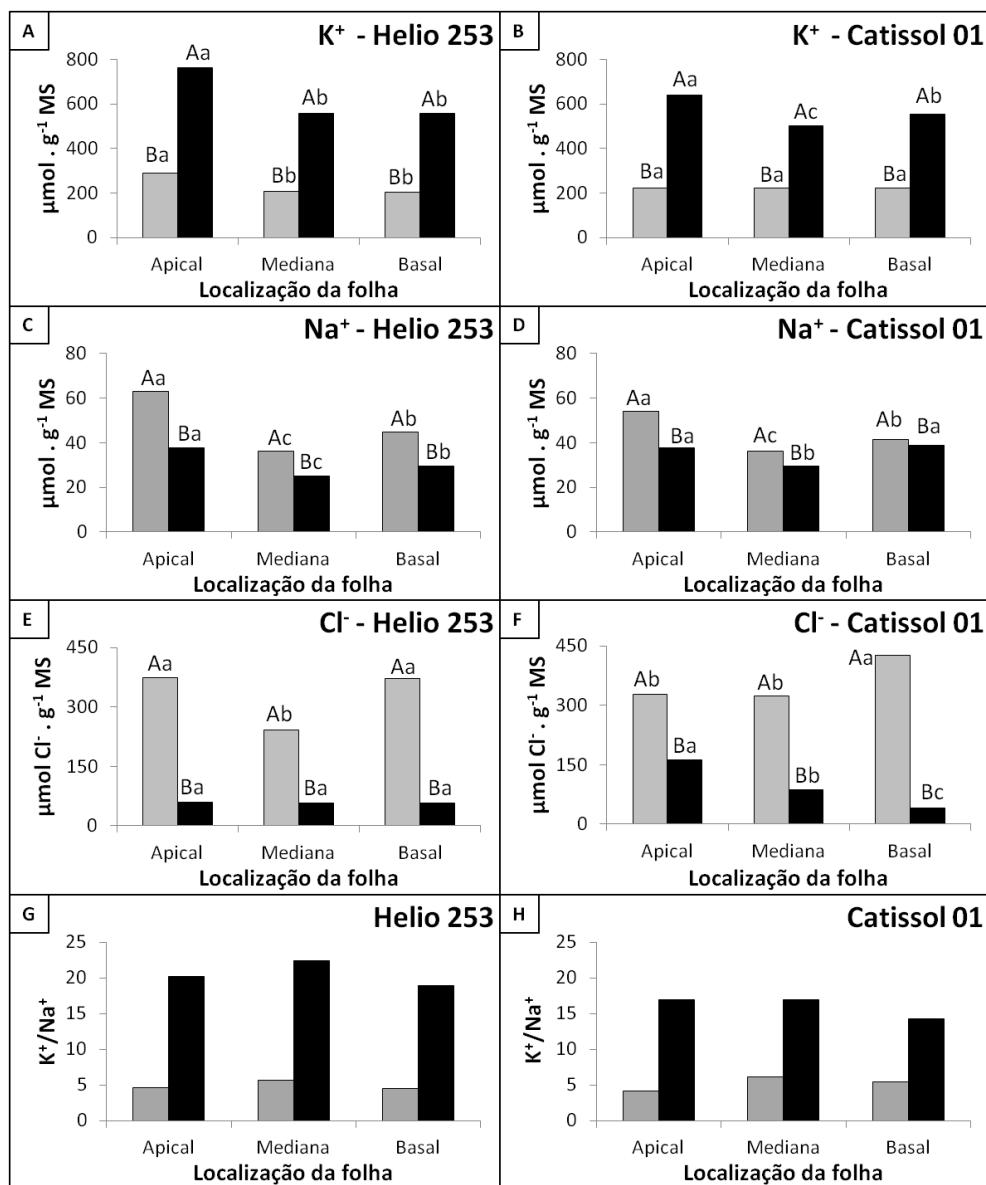


Figura 11: Concentrações de potássio (A e B), sódio (C e D), cloreto (E e F) e razão K⁺/Na⁺ (G e H) em diferentes localizações das folhas nos genótipos de girassol Helio 253 (A, C, E e G) e Catissol 01 (B, D, F e H) cultivados nas microrregiões de IPC (■) e PAR (■). Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

Os maiores valores encontrados para o íon K^+ na microrregião de PAR, para os dois genótipos (Figura 11A e B), podem estar relacionados a esse elemento, em algumas situações, representar o principal nutriente a contribuir para o decréscimo do potencial osmótico. Tal estratégia torna-se necessária à absorção de água em condições de déficit hídrico (HASEGAWA et al., 2000). Para Serafim et al. (2012), dentre as várias funções do K^+ na planta, a regulação da turgidez dos tecidos, a abertura e fechamento dos estômatos e o controle da transpiração, são fundamentais para aumentar a eficiência de uso da água pelo vegetal.

Na figura 11 (A e B), observa-se que o K^+ tendeu a se acumular nas folhas mais novas (apicais) das plantas em IPC e PAR. O acúmulo de K^+ em tecidos mais novos é comumente associado à intensa atividade metabólica desses tecidos que apresentam altas taxas fotossintéticas, mas à medida que esses processos sofrem redução, em decorrência da seca, por exemplo, o K^+ é redistribuído para outras partes da planta (LIMA et al., 2011).

Quando foram avaliadas as concentrações de Na^+ nas folhas dos dois genótipos estudados, observou-se que as plantas cultivadas na microrregião de IPC apresentaram valores médios significativamente superiores aos encontrados nas plantas cultivadas em PAR para esse íon, independente da localização da folha (Figura 11C e D).

As maiores concentrações de Na^+ encontrados nos tecidos vegetais em IPC, tanto no genótipo Helio 253 quanto Catissol 01, podem ser associado à alta incidência desse íon na microrregião que, associado ao possível maior fluxo hídrico (solo-planta-atmosfera) proporcionado pela maior disponibilidade hídrica no solo, pode ter auxiliado no transporte desse componente às folhas (BLUMWALD et al., 2000). Nesse contexto, a provável não interferência desse íon salino sobre os processos de crescimento/desenvolvimento e no status hídrico, sugerem a sua atuação na redução do potencial hídrico da planta (HASEGAWA et al., 2000). Do ponto de vista energético, os íons Na^+ são mais econômicos para a redução do potencial hídrico das células que os solutos compatíveis que são sintetizados em resposta aos sais (TAIZ & ZEIGER, 2009).

O Na^+ também pode entrar nas células de forma passiva ou por intermédio de carregadores de baixa ou alta afinidade, comuns ao K^+ (HASEGAWA et al., 2000; TESTER & DAVENPORT, 2003). Contudo, as plantas não toleram grandes concentrações de Na^+ no citoplasma, pois sob certas condições de salinidade, a estrutura das membranas celulares e enzimas podem ser danificadas e interferir diretamente no metabolismo da homeostase iônica e hídrica das plantas (ZHU, 2001; YOKOI et. al., 2002), como visto no percentual de VE das células das folhas dos genótipos em IPÇ (Tabela 5).

Na figura 11 (C e D), pode-se observar que na microrregião de PAR, tanto o genótipo Helio 253 quanto Catissol 01, apresentaram valores médios significativamente inferiores aos obtidos em IPÇ, independente do local da folha na planta (Figura 11C e D). Nesse caso, o provável baixo fluxo de água (solo-planta-atmosfera) pode ter auxiliado na redução dos teores de Na^+ translocado para as folhas das plantas cultivadas nessa microrregião. Nos dois genótipos em PAR, os valores médios de Na^+ podem sugerir que tais vegetais tiveram a capacidade de acumular os íons absorvidos nos vacúolos das células foliares. Esse mecanismo mantém a concentração de Na^+ no citoplasma e nas organelas em baixos níveis de modo a não interferirem nos mecanismos enzimáticos ou metabólicos, o que permite a hidratação das células sem causar danos as suas estruturas (FARIAS, 2008), como observado na análise de VE dos dois genótipos em PAR (Tabela 5).

Na figura 11 (C e D), tanto em IPÇ quanto em PAR, a concentração de Na^+ foi observada em todas as folhas da planta, sendo mais alta nas folhas mais novas (apicais) e, posteriormente, nas folhas mais velhas (basais). A estratégia observada nessas plantas parece ser um mecanismo adaptativo importante para a proteção dos seus maiores tecidos fotossintetizantes (folhas medianas) que sofrem influência direta de íons tóxicos no seu metabolismo (TAIZ & ZEIGER, 2009).

No município de IPÇ, observou-se que as concentrações de Cl^- , tanto no genótipo Helio 253 quanto Catissol 01, foram significativamente maiores aos valores médios obtidos no município de PAR, independente da localização das folhas (Figura 11E e F). As altas concentrações do íon Cl^- observadas nos dois genótipos em IPÇ, apesar não terem interferido nos processos de

crescimento/desenvolvimento, possivelmente estão relacionadas à absorção em excesso de Cl^- que pode causar, por seu acúmulo nos cloroplastos, a disrupção na homeostase do potencial de água e o desbalanço iônico na interface solo-planta, podendo promover nos casos mais graves a toxicidade no vegetal (NEOCLEOUS & VASILAKAKIS, 2007).

Contribuindo com o aumento do VE, o influxo de Na^+ , observado nas células dos genótipos cultivados em IPÇ, pode ter diminuído o potencial de membrana e facilitado a entrada de Cl^- que, conseqüentemente pode ter reduzido o gradiente químico da membrana (HASEGAWA et al., 2000). Elevadas concentrações de Cl^- pode ainda, alterar o metabolismo, inibir a fotossíntese e provocar o surgimento de injúrias nas folhas (MUNNS, 2002). Nesse trabalho, apesar do efeito tóxico comumente associado ao íon Cl^- , esse micronutriente parece ter auxiliado a atividade osmótica no vacúolo (WHITE & BROADLEY, 2001). Correlacionando os íons Na^+ e Cl^- , observou-se mais claramente em IPÇ, que o acúmulo total de Cl^- foi bem maior do que o acúmulo de Na^+ em todos os tecidos foliares (Figura 11C, D, E e F). Esses resultados são comumente observados e explicados pela característica de anion livre do cloro na planta, o que lhe confere maior mobilidade e transporte mais elevado do que o sódio (FERNANDES et al., 2002). Devido a essa característica, na Figura 11 (E e F), observa-se que o Cl^- pode ser acumulado rapidamente nas folhas mais jovens (apicais), nos estágios iniciais de crescimento como observado no genótipo Helio 253 (COSTA et al., 2003) ou ainda pode ser acumulado nas folhas mais velhas (basais), podendo assim funcionar como mecanismo de dessalinização utilizado pelas plantas, como observado nos genótipos Helio 253 e Catissol 01 (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Para estimar possíveis efeitos tóxicos causados por íons salinos às plantas, Maathuis & Amtmann (1999) propuseram o estudo da razão K^+/Na^+ por essa relação matemática ser um indicador de toxicidade iônica. A relação, aceita por diversos autores, é um fator determinante na manutenção do metabolismo da planta a condições de relativa salinidade, pois valores inferiores a 1,0 indicam acúmulo de Na^+ no tecido em detrimento ao K^+ (MAATHUIS & AMTMANN, 1999). Apesar

dessa razão não se apresentar como um parâmetro conclusivo na discriminação da tolerância ao sal entre algumas espécies (WEI et al., 2003), os valores obtidos para a razão K^+/Na^+ , independente do genótipo, da localização de suas folhas e da microrregião de cultivo, apresentaram-se superiores a 1,0 (Figura 11G e H), evidenciando que provavelmente não houve efeito tóxico dos íons sobre as plantas desse trabalho.

A compartimentalização dos íons em diferentes tecidos foi associada à relativa distribuição da relação K^+/Na^+ nas diferentes localizações das folhas das plantas cultivadas nas mesmas microrregiões, independente do genótipo (Figura 11G e H). Esse comportamento é comumente descrito na literatura por aperfeiçoar as funções metabólicas das plantas sob algum tipo de estresse (NIU et al., 1995). Esse mecanismo, que é caracterizado tanto por restringir como seqüestrar o excesso de sais nos vacúolos, minimiza o desequilíbrio causado pelo estresse osmótico e/ou iônico em condições de estresse salino, bem como os danos às funções e estruturas celulares, evitando a toxicidade por íons (YOKOI et al., 2002; KAMEL, 2008).

Apesar de vários outros trabalhos na literatura comprovarem o feito negativo do NaCl no crescimento vegetal (WANG & NIL 2000; TESTER & DAVENPORT, 2003; MUNNS, 2005), nas condições ambientais impostas por esse trabalho, a inibição e/ou o distúrbio, observados nas variáveis de crescimento/rendimento, indicadores de déficit hídrico e de estresse iônico, nos dois genótipos de girassol, aparentemente, está relacionada a um efeito osmótico e não ao efeito tóxico do acúmulo de sais nas folhas.

Em resposta ao baixo potencial hídrico no ambiente radicular, além de acumular íons do meio externo, as plantas reduzem o potencial osmótico de suas células ao sintetizarem osmólitos compatíveis (OLIVEIRA NETO, 2008), sendo tal processo denominado de ajustamento osmótico ou osmorregulação (YAMAGUCHI & BLUMWALD, 2005). Dentre os principais compostos orgânicos mobilizados para superar as consequências negativas do déficit hídrico no desenvolvimento vegetal, destacam-se açúcares simples como a frutose e a glicose, proteínas e aminoácidos, e dentro desse último grupo, a prolina (NIO et al., 2011).

Na microrregião de IPÇ, o genótipo Helio 253, apresentou valores médios para açúcares solúveis totais (AST) significativamente inferiores aos obtidos em PAR, principalmente nas folhas medianas e basais (Figura 12A). É possível que, nas folhas dessas plantas, a liberação de hexoses a partir da hidrólise da sacarose que serão aproveitadas em processos anabólicos ou catabólicos de crescimento e/ou armazenamento (CHAVES FILHO & STACCIARINI-SERAPHIN, 2001). Nesse trabalho, como as plantas do genótipo Helio 253, apresentaram maiores médias referentes aos indicadores de crescimento e rendimento agrônômico em IPÇ, quando comparadas a PAR, a exportação de açúcares dos locais de síntese (folhas para as regiões de consumo (caule, gemas vegetativas, raízes e órgãos reprodutivos) parece reforçar tal hipótese. O aporte de água disponível às plantas dessa microrregião garantiu a manutenção do CRA de suas folhas, e ao contrário do que ocorre no ambiente de seca, o aumento na expansão dos órgãos se deu em decorrência provável do consumo de carboidratos pelos drenos (QUICK et al., 1989; LAWLOR & CORNIC, 2002).

Nas plantas do genótipo Helio 253 em IPÇ, pode-se observar aumento nas concentrações de açúcares redutores (AR) nas folhas apicais e basais (Figura 12B). Nessas folhas a possível hidrólise da sacarose, liberando glicose e frutose, por exemplo, pode ter contribuído para a ocorrência desse evento (SHEEN, 1990). Entretanto, o aumento dos teores de açúcares não-redutores (ANR) nas folhas totalmente expandidas (mediana), pode estar relacionado ao aumento dos conteúdos de sacarose e/ou amido nesses tecidos devido ao maior tamanho da estrutura desses órgãos e consequente maior taxa fotossintética dos mesmos (CHAVES, 1991; TAIZ & ZEIGER, 2009). Como mencionado anteriormente, as plantas dessa microrregião apresentaram os maiores valores médios quanto aos indicadores de crescimento e rendimento, sugerindo assim, um aumento da demanda fotossintética impulsionado pelos tecidos não fotossintetizantes ou que não produzem fotoassimilados suficientes para suprir a sua demanda (FOYER & PAUL, 2011).

Para o genótipo Helio 253, o déficit hídrico imposto pelas condições edafoclimáticas da microrregião de PAR, conferiram às plantas cultivadas nesse

local, maiores concentrações de AST em seus tecidos foliares quando comparado as plantas cultivadas em IPC, principalmente nas folhas medianas e basais (Figura 12A). Em PAR, sob condições de baixa disponibilidade hídrica, as plantas provavelmente acumularam menos amido (FERRARIO-MÉRY et al., 1998) e mais sacarose (QUICK et al., 1989a, 1992b) que plantas em condições hídricas normais. Essa característica pode ser atribuída à síntese reduzida de amido (QUICK et al., 1989), ou à sua degradação pela enzima amilase (FOX & GEIGER, 1986), ocasionando simultâneo acúmulo de açúcares solúveis (KRAMER, 1995). Tal acúmulo ocorreu em decorrência provável de contínua produção de fotoassimilados pela fotossíntese, processo esse menos afetado pelo déficit hídrico do que o crescimento (BOYER, 1970), ou devido à hidrólise de macromoléculas (CHAVES FILHO & STACCIARINI-SERAPHIN, 2001).

Na microrregião de PAR observou-se, tanto no genótipo Helio 253 quanto Catissol 01, maiores contribuições de AR no *pool* total de AST acumulados nas folhas das plantas (Figuras 12 e 13C). Esse fenômeno provavelmente está associado ao indício de dano a algumas vias metabólicas em decorrência do déficit hídrico, visto que, o aumento nas taxas de hidrólise da sacarose ligado à refosforilação de hexoses livres para glicose e frutose-fosfato, resulta em um seqüestro do fosfato citossólico e consequente interferência negativa no ciclo de Calvin-Benson (HEROLD et al., 1980, SHEEN, 1990). Dessa forma, o aumento nas concentrações de hexoses, representado pelos AR, como descrito em outras culturas, podem atuar como um potente inibidor da fotossíntese comprometendo indicadores de crescimento e rendimento agrônômico, semelhante ao observado nos dois genótipos estudados, no ambiente de seca (CHAVES, 1991; LAWLOR & CORNIC, 2002). Flexas & Medrano (2002) observaram que a diminuição em algumas atividades bioquímicas da fotossíntese, durante a seca, está relacionada à diminuição da condutância estomática e não à redução no conteúdo relativo de água no mesófilo. Dessa forma, distúrbios na síntese de ATP relacionadas ao prejuízo da fotossíntese durante a seca, podem estar relacionados a danos irreversíveis ao sistema de transporte de elétrons do Fotossistema II (FLEXAS & MEDRANO, 2002).

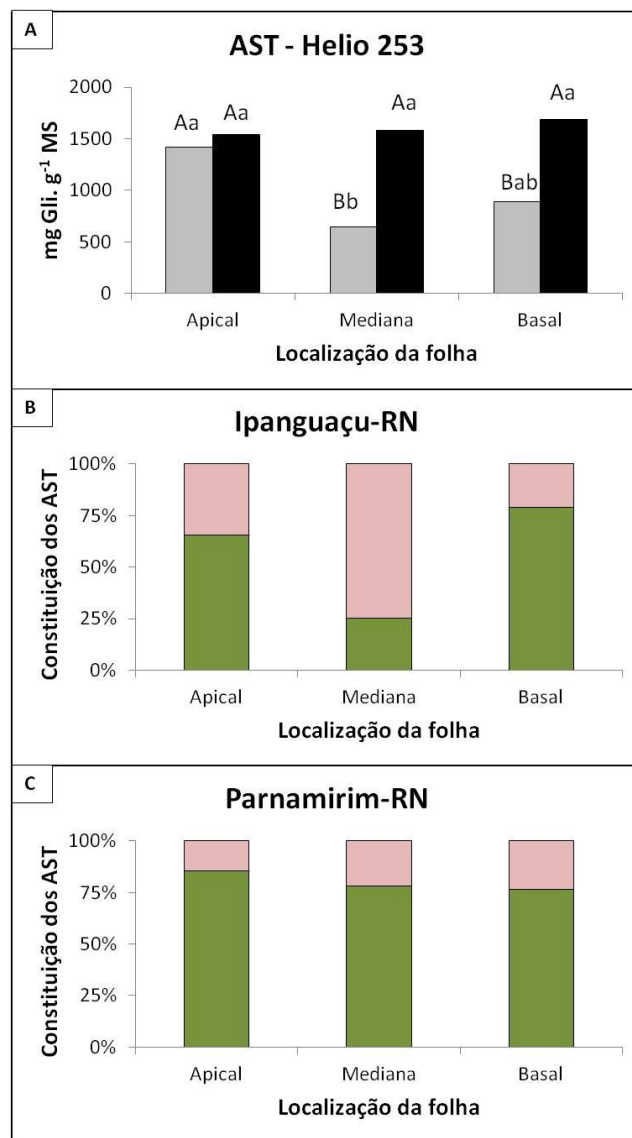


Figura 12: Açúcares Solúveis Totais (A), percentual de contribuição dos Açúcares Redutores ■ e Não-Redutores ■ no genótipo Helio 253 cultivado nas microrregiões de IPÇ ■ e PAR ■. Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

Ao avaliar o genótipo Catissol 01, na microrregião de IPÇ, pode-se observar um aumento significativo nas concentrações de AST quando comparado as plantas desse genótipo cultivadas em PAR, independente da localização das folhas (Figura 13A). O acúmulo de carboidratos é muito variável entre as espécies, quando da inibição da fotossíntese (GOLDSCHMIDT & HUBER, 1992), podendo também ser utilizado como uma alternativa de adaptação às condições hídricas desfavoráveis e/ou concentrações salinas do solo, por meio da osmorregulação (LAWLOR & CORNIC, 2002; OLIVEIRA et al., 2006). Como pode ser observado no genótipo Catissol 01, cultivado em IPÇ, o aumento nas concentrações de AST além da possível associação desses ao aumento do consumo de carboidratos pelos drenos (QUICK et al., 1989; LAWLOR & CORNIC, 2002), parece ainda ser uma resposta desse genótipo às concentrações salinas presentes em seus tecidos foliares.

Nas plantas do genótipo Catissol 01, cultivadas em IPÇ, observou-se uma maior contribuição dos AR no *pool* total de AST acumulados em todas as folhas, independente da sua localização (Figura 13B). Apesar de o ajuste osmótico ser comumente associado ao acúmulo em alta proporção de sacarose, que ocorre em folhas totalmente expandidas (CHAVES, 1991), a contribuição do acúmulo de glicose e frutose, principalmente nas regiões de crescimento, pode também relacionar-se a osmoproteção e ajuste osmótico (ASHRAF & HARRIS, 2004).

O aumento de carboidratos é frequentemente relatado na literatura em resposta à seca e/ou à salinidade, por esses representarem mais de 50% do potencial osmótico total em glicófitas submetidas a tais condições. Entretanto, a manutenção das taxas fotossintéticas e a contribuição da glicose, frutose e sacarose na osmoproteção, ajuste osmótico e estoque de carbono, sem inibir a fotossíntese (BAJJI et al., 2001; ASHRAF & HARRIS, 2004; OLIVEIRA et al., 2006), ainda não está completamente compreendida. As razões evidentes são as variações intra-específicas das espécies vegetais (ASHRAF & HARRIS, 2004).

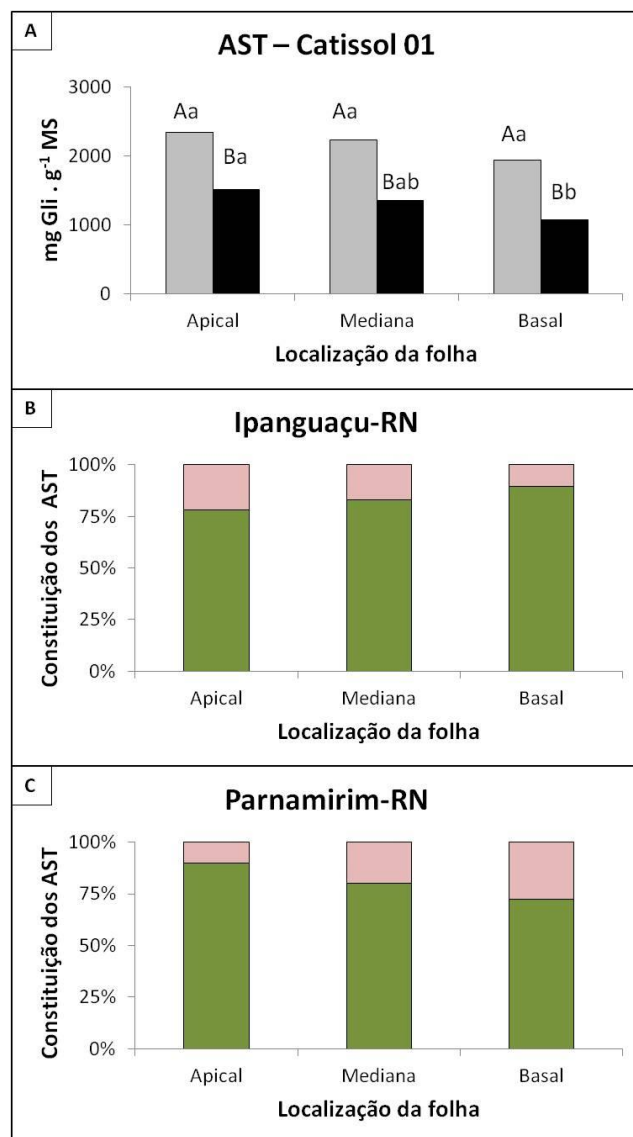


Figura 13: Açúcares Solúveis Totais (A), percentual de contribuição dos Açúcares Redutores ■ e Não-Redutores ■ no genótipo Catissol 01 cultivado nas microrregiões de IPÇ ■ e PAR ■. Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

A seca e a salinidade estimulam também um aumento na concentração de alguns aminoácidos, dentre eles a prolina, que é um soluto osmoticamente compatível e possui funções destinadas à estabilização de membranas e proteínas, proteção contra temperaturas extremas, sal e danos oxidativos (ABRAHAM et al., 2003).

As plantas do genótipo Helio 253, quando cultivadas em IPÇ, apresentaram valores médios de AALT significativamente superiores aos apresentados em PAR, expressivamente nas folhas apicais e medianas (Figura 14A). O acúmulo de compostos nitrogenados em plantas é comumente relacionado à tolerância a salinidade (MANSOUR, 2000). Nesse caso, o acúmulo de AALT pode ser resultante não do déficit hídrico, mas sim do acúmulo de íons salinos nos tecidos foliares, o que provavelmente contribuiu para a redução na síntese de proteínas (KAWAGUCHI et al., 2004), ou do aumento da atividade proteolítica (CATALA et al., 2007). É comum, também, o aumento na concentração de aminoácidos em detrimento à redução de carbono proveniente das hexoses liberadas pela quebra do amido e sacarose em plantas sob déficit hídrico ou salinidade (HIEN et al., 2003). Tais fatos podem ser interpretados, em conjunto, como um mecanismo para a manutenção da homeostase metabólica em um processo de aclimação, alterando a partição de carbono de forma a aumentar o teor de aminoácidos (LAWLOR & FOCK, 1977). Nesse caso, a redução observada nos teores de AST do genótipo Helio 253 em IPÇ, pode ter relação direta com o aumento na concentração de AALT nessas plantas.

A diferença significativa nos valores de AALT dependendo da localização da folha na planta, tanto para o genótipo Helio 253 quanto Catissol 01, na microrregião de IPÇ (Figura 14A e B), pode estar associado à idade dos tecidos. O aumento de AALT observado em folhas apicais é comum em tecidos novos submetidos ao estresse, provocado pela rápida inibição da síntese protéica, seguida da eventual perda de proteínas. Já em tecidos maduros (folhas basais), sob estresse mais severo, a síntese protéica pode permanecer alta, ocorrendo, nesses casos, contínuo "turnover" protéico nas plantas submetidas a ambientes salinos (HANSON & HITZ, 1982).

Ao avaliar o genótipo Catissol 01, cultivados nas duas microrregiões (IPÇ e PAR), observou-se que as folhas das plantas não apresentaram diferenças significativas quanto ao acúmulo de AALT, com exceção das folhas medianas. Handa et al. (1983) sugeriram que um dos papéis desempenhados pelos aminoácidos seria o de atuar como uma fonte de nitrogênio e carbono prontamente utilizáveis na tentativa de reverter os efeitos causados pelo estresse salino. Particularmente nesse trabalho, a possível maior disponibilidade de esqueletos de carbono favoreceu a formação de AST no genótipo Catissol 01 em IPÇ, mesmo que as concentrações de sais no solo não o caracterizem como salino.

As relativas reduções de AALT observadas, tanto no genótipo Helio 253 quanto em Catissol 01, na microrregião de PAR sugerem a mobilização de AALT para a síntese de novas proteínas a serem repostas devido provavelmente ao excesso de catabolismo das mesmas, ocorrido provavelmente na fase de alarme que é caracterizada primariamente pelo processo de degradação de proteínas (ROCHA, 2003). Nesse caso, o sistema de prontidão pode ter sido ativado mais rapidamente, tanto na fase de alarme como na fase seguinte na tentativa de retomar a homeostase hídrica nessa microrregião (XIONG & ZHU, 2001).

Uma das características marcantes de mudança nas proporções dos aminoácidos em detrimento a distúrbios no metabolismo de proteínas é o aumento da concentração de prolina nos tecidos vegetais (LARCHER, 2004). O acúmulo desse aminoácido pode contribuir para o ajuste osmótico, de forma a minimizar os impactos prejudiciais da desidratação causada tanto pelo déficit hídrico como pela salinidade (COSTA, 1999; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Nesse trabalho, o aumento dos teores de prolina (PRO) foram verificados no genótipo Catissol 01, tanto na condição de relativa salinidade, quanto na condição de déficit hídrico, como mostra a figura 14D. 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), no genótipo Catissol 01, aparentemente, as maiores concentrações de

PRO nas duas microrregiões de cultivo se dá, provavelmente, devido a distúrbios generalizados no metabolismo de aminoácidos, associado com o aumento do catabolismo de proteínas ou outros distúrbios metabólicos provocados pelo déficit hídrico ou sal (SILVEIRA et al., 2003; ROCHA, 2003). A afirmativa pode ser confirmada pelo percentual de contribuição da PRO no *pool* de AALT. Nesse trabalho, para o genótipo Catissol 01, os menores e maiores valores desse percentual foram encontrados, respectivamente, nas folhas apicais (IPÇ = 1,21%; PAR = 1,67%) e basais (IPÇ = 5%; PAR = 4,47%).

Para o genótipo Helio 253, na microrregião de IPÇ, observaram-se valores médios para a concentração de PRO superiores aos de PAR (Figura 14C), independente da localização da folha. Apesar das diferenças representativas entre os valores obtidos nas duas microrregiões para esse genótipo, os níveis de PRO parecem estar mais associados às variações ocorridas nas concentrações de AALT como resposta da planta às concentrações de sais no solo (PARIDA & DAS, 2005), do que propriamente uma síntese de PRO na tentativa de um possível ajustamento osmótico por parte da planta (ASHRAF & FOOLAD, 2007).

Assim, como observado nas diferentes respostas entre os genótipos Helio 253 e Catissol 01, para as concentrações de PRO, os resultados permitem inferir que a capacidade de acumular PRO sob condições de estresse é dependente da variabilidade genotípica e do nível de estresse sofrido pela planta, podendo até mesmo não ocorrer (SILVA et al., 2003).

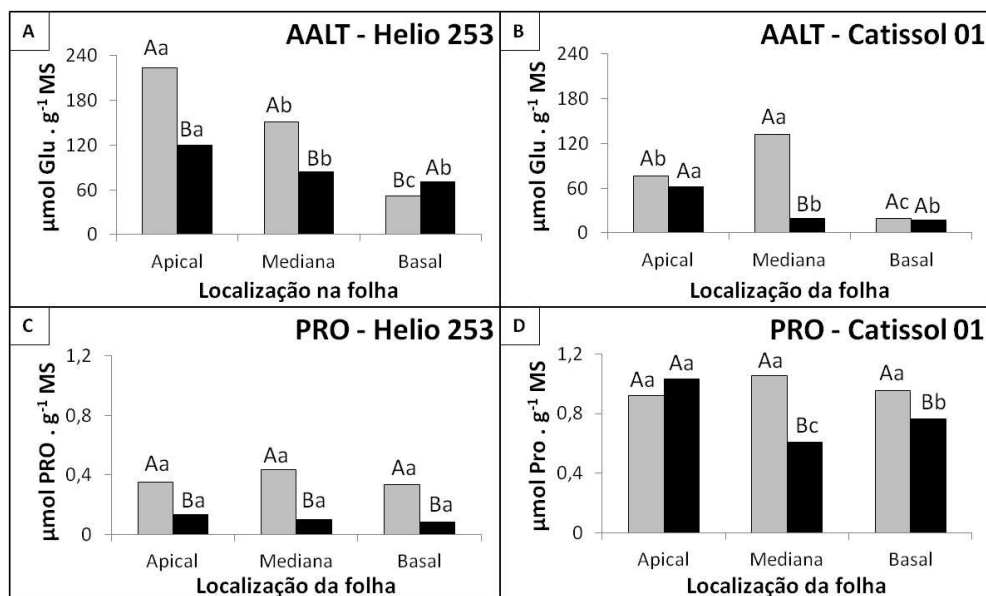


Figura 14: Aminoácidos Livres Totais (A e B) e Prolina Livre (C e D) em diferentes localizações das folhas nos genótipos de girassol Helio 253 (A e C) e Catissol 01 (B e D) cultivados nas microrregiões de IPÇ (■) e PAR (■). Médias acompanhadas da mesma letra em maiúsculo, dentro da localização de cada folha entre as microrregiões de cultivo e mesma letra em minúsculo, entre a localização das folhas na mesma microrregião de cultivo, não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t-Student.

Todavia, assim como observado por Silva et al. (2010) o acúmulo ou não de AST, AALT e PRO, observados nesse trabalho, sob condições de déficit hídrico e relativa salinidade, evidencia que o acúmulo desses solutos não estiveram associados diretamente a uma possível maior tolerância dos genótipos às condições de cultivo, mas sim uma consequência dos fatores ambientais nos processos metabólicos das plantas. As diferenças no acúmulo de compostos osmoticamente compatíveis, observados nesse trabalho, ainda estão intimamente relacionados às variações intraespecíficas, entre genótipos (MUNNS & TESTER, 2008).

5 CONCLUSÃO

Tanto o genótipo Helio 253, quanto o genótipo Catissol 01, apresentaram respostas distintas aos ambientes em que foram cultivados, tendo os seus melhores desempenhos na microrregião de IPÇ.

As concentrações de íons salinos presentes na microrregião de IPÇ, não foram tóxicas o suficiente para interferir no crescimento, desenvolvimento e rendimento agrônômico dos dois genótipos de girassol estudados, mas causaram indícios de relativos danos aos processos metabólicos das plantas, estimados pelos indicadores de estresse iônico, danos às membranas e osmólitos.

Em PAR, a deficiência hídrica provavelmente foi o fator determinante para os distúrbios e danos causados aos processos de crescimento, desenvolvimento e rendimento agrônômico dos dois genótipos estudados visto o baixo CRA e o aumento relativo nos osmólitos estudados.

O aumento ou redução dos osmólitos representados pelos AST, AR, AALT e PRO, nos dois genótipos, parecem estar associados a um processo de dano às vias metabólicas do que propriamente uma tentativa de ajuste osmótico por parte das plantas.

Os efeitos diferenciados, observado entre o genótipo Helio 253 e Catissol 01, mostram que as reações das plantas às condições ambientais são, de fato, intra-específicas.

REFERÊNCIAS

ABEBE, T.; GUENZI, A.C.; MARTIN, B.; CUSHMAN, J.C. Tolerance of mannitol accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. **Plant Physiology**, v. 131, p. 1748–1755, 2003.

ABOISSA, Óleos Vegetais. **Girassol**. Disponível em: <<http://www.aboissa.com.br/girassol/index.html>>. Acesso em: 24 ago. 2005.

ABRAHAM, E.; RIGO, G.; SZEKELY, G.; NAGY, R.; KONCZ, C.; SZABADOS, L. light-dependent induction of proline biosynthesis by abscisic acid and salt stress is inhibited by brassinosteriod in Arabidopsis. **Plant Molecular Biology**, v.51, p.363-372, 2003.

ABREU, J.B.R. de; MENEZES, J.B.O.X. de; SCOFIELD, H.L.; SCOLFORO, L.; ARAÚJO, L.A.; SOUZA, M.M.; JUNIOR, É.P.DO N.; SANTOS, A.P. 2001. **Avaliação da produção de capítulos e de matéria seca total de quatro cultivares de girassol (*Helianthus annuus*)**. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol, 14. Simpósio Nacional Sobre a Cultura do Girassol, 2., 2001, Rio Verde. *Resumos...* Rio Verde: FESURV/IAM. 180 p. p.48-49. (FESURV. Rvdocumentos, 1).

AGUIRREZABAL, L., G.A. ORIOLI, L.F. HERNÁNDEZ, V.F. PEREYRA Y J.P. MIRAVÉ. 2001. **Girasol: Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento**. Unidad Integrada Balcarce. INTA y Facultad de Ciencias Agrarias de La Universidad de Mar del Plata. La Plata, Argentina.

AMORIN, E. P.; RAMOS, N.P.; UNGARO, M.R.G.; KIIHL, T.A.M. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, v. 67, n. 02, p. 307-316, 2008.

ANASTASI, U.; SANTONOCETO, C.; GIUFFRE, A. M.; SORTINO, O.; ABBATE, V. Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. **Field Crops Research**, v.119, p.145–153, 2010.

ANNICK, M.M.; ELISABETH, P.; GÉRARD, T. Osmotic Adjustment, Gas Exchanges and Chlorophyll Fluorescence of a Hexaploid Triticale and Its Parental Species under Salt Stress, **J. Plant Physiology**, v. 161, p. 25–33, 2004.

ASHRAF, M. & FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.206-216, 2007.

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

ATTEYA, A. M. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v.29, p.63-76, 2003.

BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J.M. Water Deficit Effects on Solute Contribution to Osmotic Adjustment as a Function of Leaf Ageing in Three Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Cultivars Performing Differently in Arid Conditions. **Plant Science**, v. 160, p. 669–681, 2001.

BALDO, R.; SCALON, S.P.Q.; ROSA, Y.B.C.J.; MUSSURY, R.M.; BETONI, R.; BARRETO, L.S. Comportamento do algodoeiro cultivar delta opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1804-1812, 2009.

BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, p. 524-564, 1974.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; SANTOS, A.O. et al. Análise de crescimento do girassol em resposta a cultivares, níveis de adubação e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, n.2, p.167-184, 1995a.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. et al. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, n.2, p.201-216, 1995b.

BARRETO, L.P. **Estudo nutricional e bioquímico do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob estresse salino**. 1997. 179p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1997.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D de.; CAVALCANTI, M.L.F.; BARROS, A.D. de. **Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico**. I Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 23 a 26 nov., Campina Grande-PB, 2004.

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.

BERGMANN, W. (Ed.). **Nutritional disorders of plants**. New York: G. Fischer, 1992. 741p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006. 625 p.

BLUMWALD, E.; AHARON, G.S.; APSE, M.P. Sodium transport in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1465, p. 140-151, 2000.

BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, Maryland, v.46, p.233-5, 1970.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional/SDR. **Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semi-árido Nordeste e do Polígono das Secas**. Brasília, DF, p.33, 2005.

BRILHANTE, J. C. A. **Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no potencial osmótico de folhas de *Atriplex nummularia* submetidas ao NaCl, seca e PEG**. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

BURSENS, S.; HIMANEN, K. van de COTTE, B.; BEECKMAN, T.; VAN MONTAGU, M.; HIZE, D.; VERBRUGGEN, N. Expression of cell cycle regulatory genes and morphological alterations in response to salt stress in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 211, p. 632-640, 2000.

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

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A. **A cultura do girassol: tecnologia de produção**. Documentos, EMBRAPA-CNPSo, Londrina, n. 67, 1996 a, 20p.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A. **A cultura do girassol**. Circular Técnica, EMBRAPA-CNPSo, n.13, 38 p., 1996b.

CASTRO, C & FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In____: LEITE, R.M.V.B. de C.; BRIGHENTI, A.A.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. P. 163 218.

CÂMARA, G. M. S. **O Agronegócio das plantas oleaginosas: algodão, amendoim, girassol e mamona**. ESALQ. Piracicaba, 204p., 2001.

CASADEBAIG, P. ; DEBAEKE, P.; LECOEUR, J. Thresholds for leaf expansion and transpiration responses to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 646-654, May 2008.

CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; CASTRO, C. de; SILVEIRA, J.M. 1997. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: EMBRAPA CNPSo. 24p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 58).

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. de; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R.F. de; DECHEN, A.R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 02, p. 214-220, 2006.

CASTRO, C; de OLIVEIRA, F.A. Nutrição e adubação do girassol. In____: LEITE, R.M.V.B. de C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.317-373.

CATALA, R.; OUYANG, J.; ABREU, I.A.; HU, Y.; SEO, H.; ZHANG, X.; CHUA, N.H. The Arabidopsis E3 SUMO ligase SIZ1 regulates plant growth and drought responses. **Plant Cell**, v.19, p.2952-2966, 2007.

CATERINA, R. Di; GIULIANI, M.M.; ROTUNNO, T.; CARO, A. de; FLAGELLA, Z. Influence of salt stress on seed yield and oil quality of two sunflower hybrids. **Annals of Applied Biology**, v. 151, p. 145-154, 2007.

CHAPMAN, S.C.; HAMMER, G.L.; MEINKE, H. A sunflower simulation model: I. Model development. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.725-735, 1993.

CHAVES, M.M. Effects of water stress on carbon assimilation. **Journal Experimental Botany**, v. 42, p.1-16, 1991.

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

CHAVES FILHO, J.T. & STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001.

CONAB, (2010). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2009/2010 – Décimo Segundo Levantamento – Setembro/2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 Jun. 2011.

CORREIA, G.K. & NOGUEIRA, C.M.J.R. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogae* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n. 2, 2004.

COSTA, J. R, da. **Relações hídricas e variáveis morfológicas em cultivares de milho submetidas ao estresse hídrico**. 2000, 53 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

COSTA, P. H.; SILVA, J. V.; BEZERRA, M. A.; ENÉAS-FILHO, J.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Crescimento em níveis de solutos orgânicos e inorgânicos

em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, p.289-297, 2003.

COSTA, R.C.L. **Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas noduladas de feijão-de-corda, submetidas ao estresse hídrico**. 1999. 187p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

CRUSCIOL, C. A. C. **Crescimento radicular, nutrição e produção de cultivares de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e de fósforo**. 2001. 111 f. Tese (Livre docência) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

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.

DE LA VEGA, A.J.; CHAPMAN, S.C. Defining sunflower selection strategies for a highly heterogeneous target population of environments. **Crop Science**, v.46, p.136-144, 2006.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; SANTOS, M.A.L. dos. **Ajuste de curvas artificiais de salinização do solo por aplicação excessiva de fertilizantes**. In: CONBRAFER - Congresso Brasileiro de Fertirrigação, 1, 2003, João Pessoa. Resumo...João Pessoa: 2003. CD Rom

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.

EFEUGLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, doi. 10.1016/j.sajb.2008.06.005., 2008.

ELSHINTINAWY, F. & ELSHOUBAGY, M.N. 2001. Alleviation of changes in protein metabolism in NaClstressed wheat seedlings by thiamine. **Biologia Plantarum**, v.44, p.541-545.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. 1999. **Informes da avaliação de genótipos de girassol, 1998**. Londrina, 92 p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 21).

ERRABII, T.; GANDONOU, C.B.; ESSALMANI, H.; ABRINI, J.; IDAOMAR, M.; SENHAJI, N.S. Effects of NaCl and mannitol induced stress on sugarcane (*Saccharum sp.*) callus cultures. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.29, p.95–102, 2007.

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

FARIA, A.P. **Avaliação ex vivo da tolerância de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) ao déficit hídrico**. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, p.71, Belo Horizonte, 2010.

FARIAS, S.G.G. de. **Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral da gliricídia (*Gliricidia sepium* Jacq. Walp)**. Dissertação – Universidade Federal de Campina Grande, 49 p., Patos, 2008.

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.

FERRARIO-MÉRY, S.; VALADIER, M.; FOYER, C. H. Overexpression of nitrate reductase in tobacco delays drought-induced decreases in nitrate reductase activity and mRNA. *Plant Physiology*, v.117, p.293-302, 1998.

FLEXAS, J. & MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants, stromal and non-stromal limitations revisited. *Annals of Botany*, v. 89, p. 183-189, 2002.

FONSECA, F.S.; GARCIA, S.M.; CARRER, C.R.O. et al. **Estudo comparativo da matéria seca, proteína bruta e alguns parâmetros de crescimento de duas cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.) para silagem**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. (CD-ROM).

FOX, T. C. & GEIGER, D. R. Osmotic response of sugar beet leaves at CO₂ compensation point. **Plant Physiology**, v.80, p.239-241, 1986.

FOYER, C.H. & PAUL, M.J. Sink regulation of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 360, n. 52, p. 1383-1400, 2001.

FRANK, J. SZABO, L. **A napraforgó *Helianthus annuus***, L. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1989. 178p.

GARCIA, A.B.; ENGLER, J.A.; IYER, S.; GERATS, T.; VAN MONTAGU, M.; CAPLAN, A.B. Effects of osmoprotectants upon NaCl stress in rice. **Plant Physiology**, v.115, p.159-169, 1997.

GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; SYVERTSEN, J.P.; GIMENO, V.; BOTÍA, P.; AND PEREZ-PEREZ, J.G. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water use efficiency. **Physiologia Plantarum**. v.130, p. 532-542, 2007.

GOMES, E.M.; UNGARO, M.R.G.; VIEIRA, D.B. **Influência da suplementação hídrica na altura de planta, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 3.; REUNIÃO NACIONAL DA CULTURA DE GIRASSOL, 15., 2003, Minas Gerais. Anais... Ribeirão Preto: CATI, 2003. (CD-ROM).

GOLDSCHMIDT, E. E.; HUBER, S. Regulation of photosynthesis by end-product accumulation in leaves of plants storing starch, sucrose, and hexose sugars. **Plant Physiology**, v.99, p.1443-1448, 1992.

GOMES, E.M. **Parâmetros básicos para irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2005. 99 f. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GRIEU, P.; MAURY, P.; DEBAEKE, P.; SARRAFI, A. Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. **Innovations Agronomiques**, Paris, v. 2, p. 37-51, 2008.

HAMILTON, E.W. & HECKATHORN, S.A. Mitochondrial adaptation to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, whereas

complex II is protected by proline and betain. **Plant Physiology**, v. 126, p. 1266–1274, 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.

HANSON, A.D. & HITZ, W.D. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.33, p.163-203, 1982.

HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; ZHU, J.K.; BOHNERT, H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo alto, v. 51, n. 1, p. 463-499, 2000.

HECKLER, J. C. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 517-520, 2002.

HIEN, D. T.; JACOBS, M.; ANGENON, G.; HERMANS, C.; THU, T. T.; VAN SON, L.; ROOSENS, N. H. Proline accumulation and Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase gene properties in three rice cultivars differing in salinity and drought tolerance. **Plant Science**, v.165, p.1059-1068, 2003.

HEROLD, A.; MCGEE, E. E.; LEWIS, D. H. The effect of orthophosphate concentration and exogenously supplied sugars on the distribution of newly fixed carbon in sugar beet leaf discs. **New Phytologist**, v.85, p.1-13, 1980.

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

JAIN, K.K.; VAISH, D.P.; GUPTA, H.K.; MATHUR, S.S. 1978. **Studies on hollow seednes in sunflower**. In: International Sunflower Conference, 8, Minneapolis, USA, 1978. International Sunflower Association. p.138-147.

JIANG, Y. & HUANG, B. Protein alterations in tall fescue in response to drought stress and abscísico acid. **Crop Science**, v.42, p.202-207, 2002.

KAMEL, M., Osmotic Adjustment in Three Succulent Species of Zygophyllaceae. **African Journal of Ecology**, v. 46, p. 96–104, 2008.

KATERJI, N.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. **Agricultural Water Management**, v. 43, p. 99–109, 2000.

KAWAGUCHI, R.; GIRKE, T.; BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J. Differential mRNA translation contributes to gene regulation under non-stress and dehydration stress conditions in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Journal**, v.38, p.823-839, 2004.

KIRNAK, H.; KAYA, C.; TAS, I.; HIGGS, D. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 27, p. 34–46, 2001.

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.

KRAMER, P.J. 1995. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, London.

LAMBERS, H. Dryland salinity: a key environmental issue in southern Australia. **Plant and Soil**, v.257, p.5-7, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004. 531p.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v. 89, p. 1-15, 2002.

LAWLOR, D.W. & CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell Environ**, v. 25, p. 275-294, 2002.

LAZZAROTTO, J. J.; ROESSING, A. C.; MELLO, H. C. **O agronegócio do girassol no mundo e no Brasil**. In: LEITE, R. M.V.B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, p.16-42, 2005.

LEI, Y.B.; YIN, C.Y.; LI, C.Y. Differences in some morphological, physiological and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. **Physiologia Plantarum**, v.127, p.182–191, 2006.

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

LIRA, M.A.; CARVALHO, H.W.L. de; CHAGAS, M.C.M. das; BRISTOT, G.; DANTAS, J.A.; LIMA, J.M. P. de. **Avaliação das potencialidades da cultura do girassol como alternativa de cultivo no semiárido nordestino**. Natal: EMPARN, 2011. Documentos, n. 40, 43p.

LIMA, L.A. **Efeitos de sais no solo e na planta**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. Manejo e Controle da Salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap.4, p.112-136.

LIMA, R.L.S. DE; SEVERINO, L.S.; CAZETTA, J.O.; AZEVEDO, C.A.V. DE; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N.H.C. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-mansão entre estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1175–1179, 2011.

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

LOBO, T. F.; GRASI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista Ciência Solo Nutrição Vegetal**, v. 07, n. 03, p. 16-25, 2007.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.275-294, 2002.

LAWLOR, D. W.; FOCK, H. Water stress induced changes in the amounts of some photosynthetic assimilation products and respiratory metabolites of sunflower leaves. **Journal of Experimental Botany**, v.28, p.329-337, 1977.

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.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: Potafós, 1997. p.319.

MANSOUR, M.M.F. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. **Biology of Plants**, v.43, p.491–500, 2000.

MARENGO, J.A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 27, 2008.

MASSIGNAM, A.M & ANGELOCCI, L.R. Relações entre temperatura do ar, disponibilidade hídrica no solo, fotoperíodo e duração de subperíodos fenológicos do girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 63-69, 1993.

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.

MEDEIROS, J.F. de; LISBOA, R de A.; OLIVEIRA, M. de; SILVA JÚNIOR, M.J. da; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; RESTLE, J.; NEUMANN, M.; QUEIROZ, A. C. de; COSTA, P.B.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D. B. de. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 672-682, 2006.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

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, JOAQUIM 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.

MORRIS, D.L. Quantitative determination of carbohydrates with Drywood's anthrone reagent. **Science**, Washington, v.107, n.01, p.254-255, 1948.

MOTA, F.S. da. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1983. 376p.

MOULOUNGUI, Z. ROCHE, J.; BOUNIOLS, A. Limitations extractives des ingrédients fonctionnels natifs: lipides bioactifs par modifications chimiques. Oléagineux, **Corps gras**, Lipides, v.13, n.1, p.16-22, 2006.

MOURA, W.V.B. de.; LIMA, A.S.; QUEIROZ, A.F. de.; PINTO, C.R.S.; GURGEL, H.C. **Projeto água fonte de vida/ PROASNE – gênero – meio ambiente-saúde – educação: UFC e comunidade buscando desenvolvimento ecologicamente sustentável**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2., 2004, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2004.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25. p.239-250, 2002.

MUNNS, R. Genes and Salt Tolerance: Bringing Them Together. **New Phytologist**, v. 167, p. 645–663, 2005.

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

MUNSON, R.D.; NELSON, W.L. Principles and practices in plant analysis. In: WALSH, L. M.; BEATON, I.D. Soil testing and plant analysis. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 223-248, 1973.

MURAKEOZY, E.P.; NAGY, Z.; DUHAZE, C.; BOUCHEREAU, A.; TUBA, Z. Seasonal changes in the levels of compatible osmolytes in three halophytic species of inland saline vegetation in Hungary. **Journal of Plant Physiology**, v.160, p.395–401, 2003.

MUTHUKUMARASAMY, M.; GUPTA, S.D. & PANNERSELVAM, R. Enhancement of peroxidase, polyphenol oxidase and superoxide dismutase activities by triadimefon in NaCl stressed *Raphanus sativus* L. **Biologia Plantarum**, v.43, p.317–320, 2000.

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.

NEOCLEOUS, D.; VASILAKAKIS, M. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. ‘Autumn Bliss’). **Scientia Horticulturae**, v. 112, p. 282-289, 2007.

NEVES, M.B. **Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos em dois substratos, com solução nutritiva e em solo**. Ilha Solteira (2005). Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia da Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

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.

NIU, X.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M.; PARDO, J. M. Ion homeostasis in NaCl stress environments. **Plant Physiology**, Lancaster, v.109, n.2, p.735-742, 1995.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. **Nutrição mineral do eucalipto**. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). *Relações solo-eucalipto*. Viçosa: Folha de Viçosa, p. 25-91, 1990.

Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica (NAE). **Mudança de clima: negociações internacionais sobre a mudança de clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação á mudança de clima**. Caderno, Brasília, v. 1, 2005.

OLIVEIRA, F. de A. de; OLIVEIRA, F.R.A. de; CAMPOS, M. de S.; OLIVEIRA, M.K.T. de; MEDEIROS, J.F. de; SILVA, O.M. dos P. da. Interação entre salinidade e fontes de nitrogênio no desenvolvimento inicial da cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias de Recife**, v.5, n.4, p.479-484, 2010

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

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, M.F.; VIEIRA, O.V.; LEITE, R.M.V.B.C. **Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa**. Embrapa, Londrina-PR, n.273, 27p, 2004.

OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A.; TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 03, p. 439-445, 2004.

OLIVEIRA NETO, C.F. **Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) submetidas à deficiência hídrica**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). UFRA, 106f. 2008.

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.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B.; DAS, P. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. **Journal of Plant Biology**, v.45, p.28–36, 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, 1989, 76p.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. 2.ed. Madrid: Agrícola Espanola, 1985. 521p.

PORTO, W.S.; CARVALHO, C.G.P. de; PINTO, R.J.B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 491-499, 2007.

PRAXEDES, S.C.; DAMATTA, F.M.; LOUREIRO, M.E.; FERRÃO, M.A.G.; CORDEIRO, A.T. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*) leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 263-273, 2006.

QUEIROZ, C.G.S.; GARCIA Q.S.; LEMOS FILHO, J.P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membranas em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, p. 59-63, 2002.

QUICK, P.; CHAVES, M. M.; WENDLER, R.; DAVID, M.; RODRIGUES, M. L.; PASSAHARINHO, J. A.; PEREIRA, J. S.; ADCOCK, M. D.; LEEGOOD, R. C.; STITT, M. The effect of water on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. **Plant, Cell and Environment**, v.15, p. 25-35, 1992b.

QUICK, P.; SIEGL, G.; NEUHAUS, E.; FEIL, R.; STITT, M. Short-term water stress leads to a stimulation of sucrose synthesis by activating sucrose-phosphate synthase. **Planta**, v.177, p.535-546, 1989a.

RIBEIRO, M.C.C.; MARQUES, M.B.; AMARO FILHO, J. Efeito da salinidade na germinação de sementes de quatro cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.1, p.281-284, 2001.

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

ROCHA, I.M.A. **Regulação metabólica da acumulação de prolina em folhas de cajueiro expostas ao estresse salino**. Fortaleza: UFC, 2003.104p. Tese Doutorado

RONDANINI, D.; SAVIN, R.; HALL, A.J. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.83, n.1, p.79-90, 2003.

ROSS, J. L. **Geografia do Brasil** - 4. ed. - São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.215 p.

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.

SÁNCHEZ-BLANCO, M.J.; RODRÍGUEZ, P.; MORALES, M.A.; ORTUCO, M.F.; TORRECILLAS, A. Comparative growth and water relations of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants during water deficit conditions and recovery. **Plant Science**, v.162, p.107-113, 2002.

SANTOS, A.C.; ANDRADE, A.P.; LIMA, J.R.S. et al. Variabilidade temporal da precipitação pluvial: nível de nitrogênio no solo e produtividade de cultivares de girassol. **Ciência Rural**, v.32, n.5, p.757-764, 2002.

SANTOS JÚNIOR, J.A.; GHEYI, H.R.; DIAS, N. DA S.; SOARES, F.A.L.; NOBRE, R.G. Doses de boro e água residuária na produção do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 857-864, 2011.

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.

SEMARH & IDEMA. **Perfil do seu município: Ipanguaçu.** v.10 p.1-23, Natal, 2008.

SEMARH & IDEMA. **Perfil do seu município: Parnamirim.** v.10 p.1-24, Natal 2008

SERAFIM, M.E.; ONO, F.B.; ZEVIANI, W.M.; NOVELINO, J.O.; SILVA, J.V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 222-227, 2012.

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.

SERRANO, R.; GRAXIOLA, R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.13, p.121-138, 1994.

SHEEN, J. Metabolic repression of transcription in higher plants. **Plant Cell**, Rockville, v.2, p. 1027-1038, 1990.

SILVA, H.P.; NEVES, J.M.G; REIS, A.P.D.; BRANDAO JUNIOR, D.S.; SAMPAIO, R. A.; COLEN, F. **Desenvolvimento da Cultura do Girassol em Diferentes Doses de Lodo de Esgoto e Silicato de Calcio e Magnésio.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROBIOENERGIAE SIMPOSIO INTERNACIONAL DE BIOCOMBUSTIVEIS. Anais, Uberlandia, MG, Brasil 2008.

SILVA, J.V.; LACERDA, C.F.; COSTA, P.H.A.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15. p. 99-105. 2003.

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 05, p.482-488, 2007.

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.

SLAVICK, B. Methods of studying plant water relations. **Springer Verlag**, p.449, New York, 1974.

SMIDERLE, O.J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GIANLUPPI, D. Avaliação de cultivares de girassol em savana de Roraima. **Acta Amazônica**. v. 35, n. 3, p. 331 – 336, 2005.

SONNEWALD, U. Sugar Sensing and Regulation of Photosynthetic Carbon Metabolism, **Advances in Photosynthesis and Respiration**, v. 11 // Aro, E.M. and Andersson, B., Eds., Dordrecht: Kluwer, p. 109–120, 2001.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848p.

TAJI, T; SEKI, M; SATOU, M; SAKURAI, T; KOBAYASHI, M; ISHIYAMA, K; NARUSAKA, Y; NARUSAKA, M; ZHU, J-K; SHINOZAKI, K. Comparative genomics in salt tolerance between Arabidopsis and Arabidopsis-related halophyte salt cress using Arabidopsis microarrays. **Plant Physiology**, v.135, p.1697–1709, 2004.

TESTER, M. & DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, p. 503-527, 2003.

TOMICH, T.R.; RODRIGUES, J.A.S.; GONÇALVES, L.C. et al. Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.6, p.756-762, 2003.

TORRES, A.N.L.; PEREIRA, P.R.G.; TÔRRES, J.T.; GALLOTTI, G.J.M.; PILATI, J.A.; REBELO, J.A.; HENKELS, H. A salinidade e suas implicações no cultivo de plantas. Florianópolis, **Epagri**, v.215, p.54, 2004

TRACY, F.E.; GILLIHAM, M.; DODD, A.N.; WEBB, A.A.R.; TESTER, M. Cytosolic free Ca^{2+} in *Arabidopsis thaliana* are heterogeneous and modified by external ionic composition. **Plant Cell Environl**, In press, 2008.

UNESCO Water Portal. 2007. Disponível em <http://www.unesco.org/water>. Acesso em: 25 out. 2007.

UNGARO, M. R. G. et al. Girassol. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos Cultivos – o Fator Meteorológico na Produção Agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p. 205-221.

United States Department of Agriculture (USDA), 2011. **Foreign Agricultural Service**. Circular Series FOP 05 – 11 May 2011.

ÜNYAYAR, S.; YÜKEL, K.; ÜNAL, E. Proline and aba levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v.30 n.3-4, p.34-47, 2004.

VIEIRA, O.V. Características da cultura do girassol e sua inserção em sistemas de cultivos no Brasil. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo – RS, ed. 88, 2005.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v.218, p.1–14, 2003.

WANG, Y.& NIL, N. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.75, p.623–627, 2000.

WEI, W., BILSBORROW, P. E., HOOLEY, P., FINCHAM, D., LOMBI, A. E.; FORSTER, B. P. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. **Plant and Soil**, v.250, n.2, p.183–191, 2003.

WHITE, P.J. & BROADLEY, M.R. Chloride in Soils and its Uptake and Movement within the Plant: A Review. **Annals of Botany**, v. 88, p. 967-988, 2001.

WILLADINO, L. & CAMARA, T.R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, p. 3, 2010.

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.

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

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

ZHIFANG, G.; LOESCHER, W.H. Expression of a celery mannose 6-phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a glucosyl-mannitol dimer. **Plant Cell Environment**, v.26, p.275-283, 2003.

ZHU, J.K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v.6, p.56-71, 2001.