



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANTONIO LUCAS AGUIAR LOBO

CRESCIMENTO E DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE SOJA
SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO SEVERO

FORTALEZA

2021

ANTONIO LUCAS AGUIAR LOBO

CRESCIMENTO E DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE SOJA
SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO SEVERO

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Prof.(a) Dr(a). Rosilene Oliveira
Mesquita

Coorientador: Ms. Rafael Santiago da Costa

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L782c Lobo, Antonio Lucas Aguiar.
Crescimento e desempenho fisiológico de cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico severo /
Antonio Lucas Aguiar Lobo. – 2021.
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Prof. Me. Rafael Santiago da Costa .

1. Estresse hídrico. 2. Glycine max L. 3. Semiárido. 4. Trocas gasosas. 5. Biometria. I. Título.

CDD 630

ANTONIO LUCAS AGUIAR LOBO

CRESCIMENTO E DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE SOJA
SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO SEVERO

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 30 / 03 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Rafael Santiago da Costa (Coorientador)
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Johny de Souza Silva
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Letícia Kenia Bessa de Oliveira
Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus familiares, pelo amor e valores repassados.

A todos os meus amigos, professores e colegas pelo incentivo, carinho e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a toda a minha família pelo apoio e incentivo na busca dos meus objetivos, em especial a Leny Aguiar. Também sou grato a minha namorada (Mariana Amorim) companheira e paciente que esteve comigo durante os momentos mais críticos da graduação.

Agradeço também a família que o esporte me deu e todos os ensinamentos e experiências que influenciaram demais no meu desenvolvimento pessoal, formando o meu caráter. Um agradecimento especial ao Samuel Cruz, Gilmaro Matos, Nycolas Silva, Ygor Ricarte, Jadsom Félix e ao Tancredo Menezes que estiveram comigo não só na graduação como desde a infância.

Sou grato a todos os professores e colegas que moldaram o profissional que sou, em especial a professora Rosilene Mesquita e a professora Cândida Hermínia devido aos ensinamentos e conselhos quando mais precisei.

Sou grato imensamente aos meus orientadores de trabalho de conclusão de curso, professora Rosilene Mesquita e Rafael Santiago, por todo suporte, orientações e as horas dedicadas a mim no desenvolvimento deste trabalho e também aos meus colegas do grupo de pesquisa, Carolina Souza, Bruna Alves e Johny Souza.

Agradeço a banca examinadora composta pela professora Rosilene Mesquita e pelos doutorandos Rafael Santiago, Johny Souza e Letícia Kenia pelas contribuições para este trabalho.

Por fim, agradeço a Universidade Federal do Ceará, em especial ao departamento de Ciências Agrárias, por todo suporte técnico e laboratorial para condução e análises do presente trabalho.

“Não tenha medo de falhar, essa é a única maneira de se alcançar o sucesso. Mas não se terá sucesso o tempo inteiro.”

Lebron James.

RESUMO

O déficit hídrico (DH), provocado por períodos de estiagem prolongados, representa uma problemática para o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, tais como a soja, sendo necessário o uso de cultivares com maior grau de tolerância à essa condição para o sucesso agrícola. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo determinar, por meio de uma caracterização fisiológica e de crescimento, o grau de tolerância ao déficit hídrico de quatro cultivares comerciais de soja para alto rendimento. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, referente a duas condições hídricas (irrigado e déficit hídrico) e quatro cultivares comerciais de soja indicadas para o Nordeste (Brasmax Extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 e TMG 2383) com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As variáveis avaliadas foram: variáveis biométricas (altura da planta, diâmetro do caule, área foliar total, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, volume radicular e comprimento radicular); variáveis de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração, eficiência instantânea de carboxilação, eficiência do uso da água, eficiência fotoquímica potencial do PSII, rendimento quântico efetivo do FSII, taxa de transporte de elétrons, quenching fotoquímico, quenching não-fotoquímico e coeficiente de extinção não-fotoquímico); pigmentos fotossintéticos (índice relativo de clorofila, clorofila a, b, total e carotenoides); teor relativo de água e extravasamento de eletrólitos. O fator isolado DH reduziu cerca de 11,47% da altura, 24,87% da área foliar, 22,15% da massa seca da parte aérea, 33,89% da massa seca da raiz, 47,22% do volume radicular, 9,47% do comprimento radicular, 38,89% da fotossíntese, 9,33% da razão F_v/F_m , 44,47% da clorofila b, 9,77% do índice relativo de clorofila, 13,05% e 9,37% do teor relativo de água, em comparação ao tratamento controle. As cultivares Monsoy 8349 e Extrema IPRO apresentaram bons resultados fisiológicos, o que refletiu em um melhor desenvolvimento das plantas. Já as cultivares Monsoy 8644 e TMG 2383, apesar dos bons resultados, não demonstraram bom crescimento (parâmetros biométricos), indicando certa sensibilidade ao DH. Pode-se concluir que o déficit hídrico foi desfavorável para o crescimento e desempenho fisiológico em cultivares de soja para alto rendimento. As cultivares Monsoy 8349 e Extrema IPRO apresentaram maior grau de tolerância ao déficit hídrico, podendo serem indicadas para o cultivo na região Nordeste.

Palavras-chave: Estresse hídrico. *Glycine max* L. Semiárido. Trocas gasosas. Biometria.

ABSTRACT

The drought stress (DH), caused by prolonged periods of dry, represents a problem for the development and productivity of agricultural crops, such as soybeans, requiring the use of cultivars with a higher degree of tolerance to this condition for agricultural success. In this sense, this study aimed to determine, through a physiological and growth characterization, the degree of tolerance to water deficit in four commercial soybean cultivars for high yield. The experiment was carried out in a greenhouse, using a completely randomized experimental design, in a 2 x 4 factorial scheme, referring to two water conditions (irrigated and water deficit) and four commercial soybean cultivars indicated for the Northeast (Brasmax Extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 and TMG 2383) with five replications, totaling 40 experimental units. The variables evaluated were: biometric variables (plant height, stem diameter, total leaf area, dry mass of the aerial part, dry mass of the root, root volume and root length); gas exchange variables and chlorophyll a fluorescence (liquid photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, instant carboxylation efficiency, water use efficiency, PSII potential photochemical efficiency, FSII effective quantum yield, electron transport rate, photochemical quenching, non-photochemical quenching and non-photochemical extinction coefficient); photosynthetic pigments (relative index of chlorophyll, chlorophyll a, b, total and carotenoids); relative water content and electrolyte leakage. The isolated factor DH reduced about 11.47% of the height, 24.87% of the leaf area, 22.15% of the dry mass of the aerial part, 33.89% of the dry mass of the root, 47.22% of the root volume , 9.47% of the root length, 38.89% of photosynthesis, 9.33% of the Fv / Fm ratio, 44.47% of chlorophyll b, 9.77% of the relative chlorophyll index, 13.05% and 9 , 37% of the relative water content, compared to the control treatment. The cultivars Monsoy 8349 and Extrema IPRO showed good physiological results, which reflected in a better development of the plants. The cultivars Monsoy 8644 and TMG 2383, in spite of the good results, did not show good growth (biometric parameters), indicating a certain sensitivity to HD. It can be concluded that the water deficit was unfavorable for growth and physiological performance in high yield soybean cultivars. The cultivars Monsoy 8349 and Extrema IPRO showed a higher degree of tolerance to water deficit, which can be indicated for cultivation in the Northeast region.

Keywords: Water stress. *Glycine max* L. Semiarid. Gas exchange.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. <i>Geral</i>	12
2.2. <i>Específicos</i>	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. Aspectos gerais da cultura da soja	13
3.2. Estresse hídrico	15
3.3. Efeito do déficit hídrico no desenvolvimento e na fisiologia da soja	16
3.4. Importância da seleção de cultivares tolerantes.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Localização do experimento	20
4.2. Material vegetal utilizado e condições de cultivo	20
4.3. Delineamento experimental e tratamentos	21
4.4. Irrigação.....	21
4.5. Variáveis analisadas	22
4.5.1. <i>Variáveis biométricas</i>	22
4.5.2. <i>Variáveis fisiológicas (trocas gasosas foliares e fluorescência da clorofila a)</i> ...	23
4.5.3. <i>Pigmentos foliares</i>	24
4.5.4. <i>Status hídrico da planta</i>	25
4.6. Análise estatística e confecção dos gráficos	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Variáveis biométricas	27
5.2. Variáveis fisiológicas (trocas gasosas foliares e fluorescência da clorofila a).....	33
5.3. Pigmentos foliares e status hídrico da planta.....	40
6. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma espécie dicotiledônea originária da Ásia, pertencente à família Fabaceae, apresenta porte herbáceo, produz frutos do tipo vagens e atualmente é a leguminosa mais importante da economia mundial, sendo uma excelente fonte de proteína vegetal, destacando-se assim como matéria-prima para alimentação humana e ração animal (SEDIYAMA et al., 2009; CASTRO et al., 2015). Por esse motivo, a fronteira agrícola dessa cultura tem aumentado a cada ano, porém, Wu (2020) afirma que com a demanda crescente, a China, maior mercado consumidor do planeta, precisa importar uma grande quantidade de soja.

Nesse sentido, o cultivo de soja no Brasil vem se expandindo cada vez mais, isso deve-se principalmente aos avanços do melhoramento vegetal e ao desenvolvimento de cultivares adaptadas à diversas condições ambientais (TEJO et al., 2019). Vale ressaltar, que o Brasil possui grande aptidão agrícola, sendo atualmente o maior produtor de soja, recebendo inúmeros investimentos em ciência e tecnologia voltados para a área e contribuindo para impactos positivos, tanto no ponto de vista econômico quanto social (CATTELAN et al., 2018).

A soja, assim como qualquer outro produto agrícola, está propensa às influências de diversos fatores externos durante sua produção, tais como luminosidade, disponibilidade hídrica, nutrientes e outros (FENG et al., 2020). Dentre esses fatores citados, o mais limitante para a região Nordeste, é a disponibilidade hídrica, pois essa afeta diretamente a divisão celular, trocas gasosas e conseqüentemente o pleno desenvolvimento vegetal e os aspectos produtivos das culturas (TAIZ et al., 2017).

O estresse hídrico no Nordeste é caracterizado pela baixa disponibilidade de água em determinados períodos, podendo ainda estar associado com altas taxas evaporativas da cultura e elevadas temperaturas (SILVA; ALCANTARA, 2009). Essa baixa disponibilidade de água pode causar danos na soja a nível estrutural, celular e bioquímico, que dependendo da intensidade, período de exposição e estágio de desenvolvimento da cultura, podem ser reversíveis ou não (VIEIRA et al., 2013).

Nesse sentido, a utilização de cultivares mais resistentes e tolerantes à seca são essenciais para um bom desempenho agrícola da soja na região Nordeste. Dessa forma, torna-se relevante a realização de uma caracterização ecofisiológica de cultivares de soja sob condições de déficit hídrico para que se possa obter resultados que impulsionem o cultivo nessa região.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Determinar o grau de tolerância ao déficit hídrico em quatro cultivares comerciais de soja recomendadas para a região Nordeste.

2.2. Específicos

- Avaliar o crescimento por meio das variáveis biométricas em quatro cultivares de soja sob condições hídricas adequadas e estressantes;
- Avaliar o desempenho fisiológico por meio das variáveis de trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, pigmentos fotossintéticos, teor relativo de água e vazamento de eletrólitos, em quatro cultivares de soja sob condições hídricas adequadas e estressantes;
- Averiguar se as cultivares são tolerantes ao déficit hídrico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos gerais da cultura da soja

A leguminosa soja (*Glycine max* L.), com origem asiática, segundo Gazzoni (2018), é uma planta de ciclo anual e autógama, da família Fabaceae, possui porte herbáceo, apresenta características morfológicas que sofrem influência do ambiente, como por exemplo o ciclo, altura e ramificações (TEJO et al., 2019). É uma planta com importância comercial e nutricional e seu consumo na alimentação dos seres humanos possui incentivo graças à enorme variedade de produtos à base de soja e por possuir uma série de benefícios potenciais para a saúde, devido à alta qualidade proteica e isoflavonas (CANTELLI, 2016).

A planta produz vagens comestíveis, apresenta riqueza em proteína vegetal, sendo uma das grandes commodities do comércio mundial, consumida no mundo inteiro (FENG, 2020). Segundo Sedyama (1985), o sistema radicular da soja é formado pelas raízes secundárias e uma raiz axial principal. São encontrados nas raízes do vegetal, nódulos que correspondem a uma simbiose que acontece entre a soja e microorganismos do gênero *Bradyrhizobium*, estas bactérias proporcionam a fixação de nitrogênio no ar e o disponibilizam ao vegetal de maneira na qual ele possa assimilar (nitrato) obtendo nesse processo hidratos de carbono.

Com relação ao caule da cultura é classificado como ereto, pubescente, herbáceo e ramificado, com desenvolvimento começando a partir do eixo embrionário. As condições externas podem acabar influenciando no crescimento, entretanto, normalmente, no maior número de cultivares é do tipo ortótopo (TEJO et al., 2019). Conforme Camargo (2010), no crescimento e desenvolvimento, a leguminosa possui três categorias de folhas diferentes, as iniciais cotiledonares, as unifolioladas no começo do desenvolvimento e, as trifolioladas que continuam até a fase de senescência.

De acordo Milman (2020), as flores da leguminosa são completas e surgem em racemos axilares ou terminais. A coloração da flor pode variar conforme a genética da cultivar, porém, as mais comuns apresentam cor púrpura ou branca. A abertura da flor acontece normalmente no período da manhã e pode ter influência da umidade e temperatura. A soja sofre influência do fotoperíodismo, sendo considerada um vegetal de dias curtos, assim, necessita de uma certa quantidade de horas de noite ou escuro para que ocorra a floração, no entanto, conforme a cultivar essa característica muda.

O fruto da leguminosa é denominado de vagem e quando maduro possui de 2 até 7 cm de comprimento e 1 até 2 cm de largura, o que pode ser alterado conforme as condições climáticas, mas geralmente mostra uma forma do tipo achatada (SILVA et al., 2013). A soja

pode ser cultivada na maioria dos tipos de solo, mas prospera em solo arenoso, fértil e bem drenado. De acordo com Carmello (2006), a soja possui uma taxa inicial de absorção de nutrientes menor e a maior exigência nutricional aumenta no decorrer da fase vegetativa e se mantém elevada até o início do preenchimento dos grãos, quando as atividades fotossintéticas são altas (TEJO et al., 2019).

De acordo com Carmello (2006), uma maior translocação de nutrientes, acumulados nas partes vegetativas ocorre à medida que o preenchimento de grãos tem evolução, diminuindo a demanda por nutrientes do solo e, conseqüentemente, as atividades fisiológicas apresentam diminuição sensível, encerrando, com a maturação da planta, a absorção e o processo fotossintético. Ainda conforme, o autor supracitado, a ordem decrescente de exigências nutricionais da soja é N, K, Ca, Mg, P e S e a necessidade de água pela soja se eleva com o crescimento da planta, alcançando assim, o nível de ápice durante o preenchimento de grãos.

Restrições bióticas, como patógenos, pragas e ervas daninhas, podem ser prejudiciais ao cultivo da soja, ocasionando impactos negativos de forma significativa na produção. Para reduzir de forma eficiente os prejuízos causados por patógenos e pragas, inúmeras práticas, como técnicas de saneamento de sementes e técnicas culturais, aplicações de pesticidas e implantação de resistência são utilizadas. Por longos períodos, as instituições públicas realizaram testes de produtividade a nível regional em cultivares de soja tanto no setor público como também no privado (CHAWLA et al., 2013).

A soja é uma das culturas agrícolas mais cultivadas em todo mundo, com alta demanda em diferentes setores produtivos. O Brasil se tornou o maior produtor do grão com uma quantidade de 124,845 milhões de toneladas, em uma área de 36,950 milhões de hectares, atingindo a produtividade de 3379 kg/ha e os estados com as maiores produções foram respectivamente o Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, conforme levantamento da CONAB (2020).

De acordo com Almeida Neto (2015), a água é fator relevante em todas as etapas da produção de diversos cultivos, no entanto, considerando a grande irregularidade da distribuição de chuvas que ocorre na região Nordeste do Brasil, este fato tem contribuído ainda mais para menores rendimentos obtidos em diferentes culturas. Esse, é considerado um dos fatores abióticos mais importantes que limitam o crescimento e a produção da soja em muitas áreas.

3.2. Estresse hídrico

De acordo com Camargo (2010), as plantas estão sujeitas à variações ambientais por meio de estresses abióticos e bióticos e por conta disso, estudos com estresses em plantas, tais como secas, inundações, utilização de temperaturas extremas devem ser levados em consideração para aumentar a produção de soja, visto que é uma cultura que apresenta certa limitação climática, como qualquer outra. Dessa forma, é perceptível que o estresse abiótico é um dos mais desafiadores de todas as principais restrições durante a produção nas safras da soja, tendo em vista que está diretamente relacionado com as vias metabólicas do vegetal (FENG, 2020).

Dentre os estresses abióticos, a seca ou déficit hídrico se destaca como o fator com o maior impacto no rendimento de importantes safras em todo o mundo, incluindo a soja, pois o mesmo causa fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese e conseqüentemente a produtividade da cultura (TAIZ et al., 2017). Diferentes mecanismos são empregados pelas plantas para se protegerem contra o déficit hídrico, incluindo alterações na condutância estomática, ajuste osmótico, acúmulo de moléculas osmoprotetoras e atividade de proteínas antioxidantes (GOMES et al., 2015).

Além disso, o estresse hídrico pode induzir diretamente uma ampla gama de sintomas de lesão em plantas, como redução do crescimento, aumento do estresse oxidativo e mudanças no metabolismo que interferem na produção de fotoassimilados. Por esse motivo, as plantas estressadas passam por uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas frente ao estresse hídrico (DU et al., 2020).

Segundo Zhilei Liu (2015), o déficit hídrico afeta as plantas principalmente com relação a fatores físicos, nutricionais, fisiológicos e celulares, gerando dano oxidativo, causado por espécies reativas de oxigênio, afetando a quantidade de aminoácidos livres e as concentrações de açúcar das raízes das plantas. Então, compreender melhor o impacto da seca sobre as plantas é essencial para otimizar a gestão do uso da água sob condições climáticas instáveis e para produção agrícola (JHA et al., 2018).

De acordo com o experimento realizado por Liu (2004) que avaliava o efeito do estresse hídrico nas folhas e vagens da soja durante o desenvolvimento reprodutivo inicial, a seca diminuiu as taxas fotossintéticas e os potenciais hídricos nas folhas, flores e frutos. Além disso, o déficit hídrico diminuiu as concentrações de sacarose e amido nas folhas, aumentou as concentrações de hexose (glicose + frutose) e reduziu o crescimento da vagem.

Conforme Marianno (2016), na soja, o número de vagens por planta é altamente influenciado pelo déficit hídrico, visto que na fase de formação da vagem há uma demanda de

água muito grande, e sua falta pode aumentar significativamente a taxa de abortamento das vagens, diminuindo assim a produção final de sementes. De acordo com Bredemeier (2000), a seca pode afetar o status de nitrogênio e o metabolismo nas plantas, e ambos os processos interagem uns com os outros, fazendo com que a produção final seja reduzida.

O déficit hídrico diminui os teores de nitrogênio, e essa diminuição na planta pode afetar a síntese de proteínas, incluindo as principais enzimas para assimilação de carbono na fotossíntese e metabolismo, que por sua vez irá afetar a disponibilidade de carboidratos para a planta. O estresse hídrico reduz a taxa de fotossíntese e altera a distribuição e o metabolismo do carbono na planta, levando ao esgotamento da energia e diminuição da produção (DU et al., 2020).

Em complemento, Gava (2016), afirma que a aplicação de déficit hídrico ao longo de todo o ciclo da cultura reduziu a produtividade da cultura da soja. Porém, quando aplicadas somente em subperíodos, essa aplicação não apresentou diferenças em relação à irrigação plena. Assim, podemos associar esses subperíodos com os veranicos do Nordeste e tentar encontrar soluções viáveis através de cultivares tolerantes ao déficit hídrico para obtenção de rendimentos positivos, mesmo em condições hídricas limitantes.

3.3. Efeito do déficit hídrico no desenvolvimento e na fisiologia da soja

A sensibilidade da soja submetida ao déficit hídrico pode expor as plantas à alterações morfológicas, bioquímicas, fisiológicas e produtivas, porque altera sua composição química e também seu metabolismo. Na ocorrência de déficit hídrico, as plantas desencadeiam estratégias para reduzir os efeitos da seca, através de mecanismos de tolerância, tais como o ajuste osmótico, para que dessa forma, o vegetal absorva água e conserve o potencial de pressão em níveis considerados ideais (MORANDO, 2014).

Assim, o estresse hídrico gera um efeito diferencial sobre o crescimento e produção de biomassa na cultura da soja, dependente do momento e do grau de severidade. De acordo com Machado Júnior (2015) na cultura da soja, em boas condições hídricas, a eficiência do uso da radiação solar permanece relativamente constante nas diferentes fases fenológicas, mas que sob déficit hídrico a soja tende a maximizar a eficiência de utilização da radiação e a diminuir a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

A estabilidade na produção de grãos é altamente correlacionada com a disponibilidade hídrica, de forma que o déficit hídrico muito intenso na fase final de floração e na formação de vagens pode ocasionar o abortamento de quase todas as flores restantes e vagens recém-formadas, além de uma segunda florada normalmente infértil e em retenção foliar pela

ausência de demanda por fotoassimilados, influenciando negativamente na produtividade da cultura (MACHADO JÚNIOR, 2015).

O nível de perda na produção agrícola da soja depende de muitos fatores, porém, além da perda na produção, a viabilidade das sementes oriundas de plantas sob déficit hídrico é afetada negativamente. Conforme Tavares (2013), o déficit hídrico no período vegetativo, em soja, reduz o diâmetro do caule, a altura de planta, além disso, a partir de 20 dias após emergência causa redução da qualidade fisiológica das sementes de soja, podendo ser bem mais severo em plantas oriundas de sementes de baixo vigor.

Algumas das primeiras respostas ao estresse hídrico estão relacionadas com alterações morfofisiológicas, como redução da área foliar, fechamento estomático, produção de osmorreguladores e maior desenvolvimento radicular em relação à parte aérea (TAIZ et al., 2017). De acordo com Gobbi et al (2019), a produtividade da soja está diretamente ligada com a produção de fotoassimilados e a redução na área foliar afeta significativamente a produtividade da planta.

Nessa perspectiva, Kron et al. (2008) fizeram uma análise na hipótese que um déficit hídrico moderado (não-letal) aplicado a um determinado estágio da soja poderia aumentar a tolerância a futuros déficits hídricos. Com isso, o déficit hídrico foi introduzido nos estádios V1 (primeiro trifólio completamente desenvolvido), V4 (quarto trifólio completamente desenvolvido) e R1 (início do florescimento). Os resultados obtidos indicaram que um leve déficit hídrico no estágio V4 aumenta a tolerância a um futuro déficit hídrico, enquanto que um leve déficit hídrico em R1 diminuiu sua tolerância. Demonstrando assim, que plantas de soja que sofrem déficit hídrico antes do florescimento possuem maior produção de grãos do que aquelas que sofreram o déficit após o florescimento, devido a um sistema radicular desenvolvido previamente.

Dentre as principais características afetadas pelo déficit hídrico na soja cita-se a integridade da membrana citoplasmática, fotossíntese, funcionamento dos estômatos, eficiência do uso da água, assimilação de carbono e o potencial de água no xilema (HOPKINS; HÜNER, 2009). Segundo Taiz et al. (2017), ao nível celular, o déficit hídrico leva à desidratação com implicações para as membranas citoplasmáticas, nessa perspectiva, Jaleel (2009) constatou que o déficit hídrico danifica a membrana através da alteração da bicamada lipídica, levando a uma perda de seletividade e produção de radicais de oxigênio livre, estes radicais são em sua maior parte produzidos nos cloroplastos e com isso a atividade fotossintética fica comprometida.

De acordo com Gheyi (2012), as regiões Semiáridas se caracterizam por seu balanço hídrico deficitário, particularmente no que se refere às trocas com a atmosfera. Sua

precipitação anual média varia entre 500 e 850 mm com mais de 70% das chuvas se encontram no quadrimestre de janeiro a abril, sua evaporação potencial anual média (tanque classe A) varia de 2.100 a 2.600 mm, o que reforça o uso de cultivares bem adaptadas e manejo adequado a fim de evitar efeitos negativos na produtividade da soja devido às condições ambientais.

Segundo Chavarria (2015), independentemente da região produtora brasileira, um dos maiores fatores limitantes no rendimento da cultura da soja é a disponibilidade de água para as plantas. Diante de todo o explanado, percebe-se que o déficit hídrico pode ser menos desfavorável e auxiliar na indução de maior resistência a veranicos na região Nordeste brasileira, desde que ocorra em determinados períodos da fase vegetativa da planta, o que é promissor para a expansão da fronteira agrícola da soja na região, indicando também uma necessidade de estudos científicos com essa temática.

3.4. Importância da seleção de cultivares tolerantes

Tendo em vista a ocorrência de chuvas irregulares e de veranicos na região Semiárida, é necessário um manejo adequado da água e de fundamental importância a utilização de cultivares mais adaptadas à região. Segundo Yu (2016), a seca é um fator importante que limita o crescimento das plantas, causando redução na produção das safras, portanto, a caracterização da tolerância à seca e o desenvolvimento de variedades tolerantes a ela, têm sido um objetivo de muitos programas de melhoramento de culturas, tentando melhorar a produtividade da cultura em campo.

As mudanças climáticas ocorridas nos últimos tempos motivam esforços nas diferentes áreas do conhecimento, tentando buscar alternativas e minimizar os efeitos do déficit hídrico, má distribuição de chuvas e elevação de temperaturas, além de propiciar soluções mais adequadas para todos. A tolerância ao estresse hídrico é resultante de várias características (anatômicas, morfológicas, fisiológicas e moleculares) que se expressam diferente e concomitantemente, dependendo da severidade e da taxa de imposição do déficit hídrico, da idade e das condições nutricionais da planta, do tipo e da profundidade de solo, da demanda evaporativa da atmosfera e da face de exposição do terreno (FERRÃO et al., 2016).

Em situações de déficit hídrico, vários mecanismos podem ser acionados pela planta para aumentar a tolerância à seca, embora apenas alguns deles tenham papel importante nessa resposta. Localizar genes induzidos somente em genótipos tolerantes pode dar suporte na identificação dos mecanismos principais de tolerância, o que permite novas alternativas de seleção genética para a tolerância à seca e a obtenção de plantas mais adaptadas a essa condição (PEREIRA et al., 2011).

O principal objetivo dos programas de melhoramento da soja é selecionar cultivares com rendimento superior (SUN et al., 2015). De acordo com Zhou (2019), o melhoramento genético é uma solução promissora para atender a enorme futura demanda alimentar e matéria prima, por meio do desenvolvimento de novas variedades de culturas com características melhoradas, incluindo alto potencial de rendimento e resiliência a estresses bióticos e abióticos devido a ambientes adversos.

Conforme Battisti (2013) em seu trabalho sobre a eficiência climática da soja, mostraram que as datas de semeadura afetaram positivamente a eficiência climática para a cultura da soja. Fioreze (2011) em seu experimento sobre o comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação, notou que o material genético que possuía boa adaptação não sofreu tanta redução quando submetido ao estresse hídrico.

Com isso, pode-se perceber que a utilização de cultivares mais tolerantes à seca permitirá aumentar as chances do sucesso produtivo da cultura, então é crucial a escolha de cultivares mais resistentes ao déficit hídrico para maior adaptação climática. Dentre as cultivares que apresentam boas adaptações edafoclimáticas brasileiras, podemos citar como exemplos as monsoy 8644, 8349 e 2383, bem como a Brasmax extrema IPRO. Segundo Dias (2019), a soja monsoy 8644 IPRO possui hábito de crescimento determinado, ligeiramente tolerante ao déficit hídrico, é resistente ao acamamento, ao cancro da haste e a mancha olho de rã, além de apresentar exigência regular em fertilidade, com boa produtividade (DIAS, 2019).

Já para a cultivar soja monsoy 8349 IPRO é uma planta de ampla adaptação geográfica, alta estabilidade, apresenta boa arquitetura e elevado potencial produtivo (SANTOS, 2019), tornando-a altamente recomendada para produção. Por sua vez, a soja TMG 2383 IPRO tem um excelente potencial de engalhamento, ampla adaptação climática e elevado potencial produtivo, sendo bastante cultivada pelos agricultores (SANTOS, 2019). Por fim, a soja Brasmax extrema IPRO, é uma cultivar lançada na safra 18/19, com o intuito de atender aos produtores da região MATOPIBA, apresenta-se altamente estável às regiões, porte e ciclo adequado para todas regiões onde é recomendada, boa sanidade foliar, acarretando em um alto potencial produtivo (CABRAL, 2019).

Essas cultivares apresentam características interessantes para serem indicadas para a região Semiárida, no entanto, ainda são necessários trabalhos que busquem investigar o efeito do déficit hídrico nas mesmas, uma vez que é uma condição muito comum dessa região. Então, selecionar cultivares ou genótipos que apresentem características adaptativas à condição de limitação hídrica, é uma estratégia de suma importância para expansão do cultivo da soja na região Nordeste.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido durante os meses de janeiro e fevereiro de 2021, por um período de 38 dias após a semeadura (DAS) em casa de vegetação (Figura 1) pertencente ao departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no Campus do Pici, situada em Fortaleza – CE, sob as coordenadas geográficas: latitude de 3°43'02" S, longitude de 38° 32'35" W.



Figura 1. Casa de vegetação onde o experimento foi realizado, Campus do Pici – UFC.

4.2. Material vegetal utilizado e condições de cultivo

Foram utilizadas sementes de quatro cultivares de soja para alto rendimento indicadas para o Nordeste (Brasmax extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 e TMG 2383), fornecidas pela fazenda Faedo, localizada em Limoeiro do Norte – CE. As sementes foram semeadas em vasos contendo 5 kg de solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA et al., 2002), coletado no Campo Experimental de Pacajus (Tabela 1), pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O mesmo foi devidamente adubado utilizando fertilizantes químicos, segundo a metodologia de Faquin et al. (2008), baseado em estudos anteriores em vasos com solo.

Tabela 1 - Características químicas do solo antes da adubação.

MO	P	K	Mg	Ca	Na	H+Al	SB	CTC	V	PST	pH	CE
(g/dm ³)	(mg/dm ³)	.....	.....	.....	.....	(mmolc/dm ³)	.....	.....	.....	(%)	.....	(dS/m)
3,6	3	0,37	3,6	5,4	0,18	8	9,5	17,5	60	1	6,4	1,11

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE – Campus Limoeiro do Norte.

4.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, referente a duas condições hídricas (controle irrigado e déficit hídrico) e quatro cultivares (Brasmax extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 e TMG 2383) com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais (Figura 2).



Figura 2. Plantas identificadas e distribuídas de acordo com delineamento.

4.4. Irrigação

Foi determinada a capacidade de retenção de água (CRA), conforme descrito por Souza (2000), utilizando a diferença entre o valor de peso do solo úmido após a saturação e a drenagem livre, e o peso do solo seco ao ar. A manutenção de 90% da CRA foi realizada diariamente em todos os vasos, por gravimetria, pesando-as e repondo o volume de água perdido pela evapotranspiração, com o uso de uma balança, até a imposição do déficit nos tratamentos com estresse. Para as plantas que sofreram o déficit hídrico, a imposição do mesmo foi realizado aos 30 dias após semeadura (DAS), mantendo-se a CRA a 40%, por um período de sete 7 dias consecutivos (Figura 3).



Figura 3. Plantas de soja sob déficit hídrico de sete dias consecutivos.

4.5. Variáveis analisadas

4.5.1. Variáveis biométricas

Aos 37 DAS, sete dias após a imposição do déficit hídrico, foram avaliados: altura da planta e diâmetro do caule (Figura 4A e 4B), sendo essas avaliações realizadas através de uma trena graduada em cm e paquímetro digital, respectivamente. No final do experimento (38 DAS), foram realizadas também análises destrutivas: área foliar (Figura 5A) determinada por meio de um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA), comprimento radicular (Figura 5B), através da medição com trena graduada em cm, e volume radicular por meio da adição das raízes em proveta com quantidade de água pré-estabelecida.

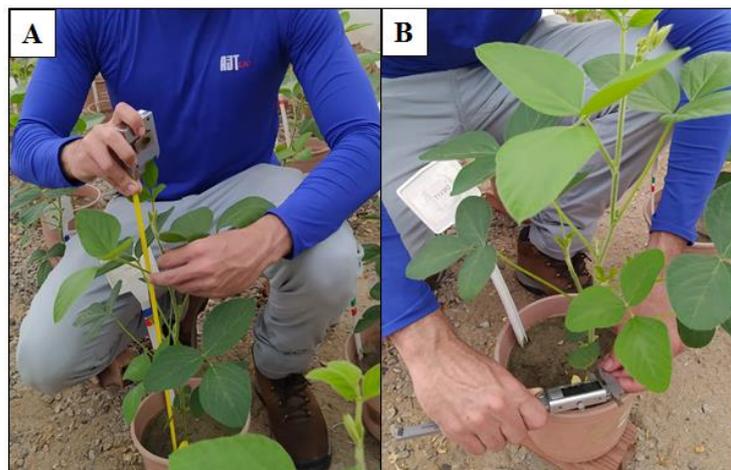


Figura 4. Medição de altura (A) e diâmetro do caule (B) de plantas de soja.



Figura 5. Medição de área foliar (A), comprimento radicular (B) e massas secas (C) de plantas de soja.

Além disso, aos 38 DAS os órgãos vegetativos foram coletados, separados em partes (folhas, caule e raízes), alocados em sacos de papel devidamente identificados e colocados para secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa constante, para obtenção da massa seca da parte aérea e das raízes (Figura 5C).

4.5.2. Variáveis fisiológicas (trocas gasosas foliares e fluorescência da clorofila *a*)

Aos 37 dias após a semeadura (DAS), sete dias após a imposição do déficit hídrico, foram realizadas medições da taxa fotossintética líquida (*A*), condutância estomática (*g_s*), taxa de transpiração (*E*) e concentração interna de CO₂ (*C_i*), em folhas completamente desenvolvidas, utilizando um analisador de gás no infravermelho (IRGA 6400XT, LI-COR, USA) (Figura 6). Com posse desses dados, foi calculado a razão *C_i/C_a*, a eficiência instantânea de carboxilação (*A/C_i*) e a eficiência instantânea do uso da água (*A/E*).

A fluorescência da clorofila *a* foi realizada também aos 37 DAS, utilizando o fluorômetro acoplado ao IRGA (6400-40, LI-COR, USA) na mesma folha em que foram avaliadas as trocas gasosas (Figura 6). As plantas foram aclimatadas ao escuro por 30 minutos, obtendo os parâmetros de fluorescência mínima (*F_o*) e, após um pulso de luz saturante, foi obtido a fluorescência máxima (*F_m*). Em seguida foi calculada a eficiência fotoquímica potencial do PSII, expressa pela relação *F_v/F_m*. Com os parâmetros de fluorescência coletados no claro (no mesmo momento da determinação das trocas gasosas) foram determinados o rendimento quântico efetivo do FSII (ϕ FSII), taxa de transporte de elétrons (ETR), quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN) e o coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ).



Figura 6. Avaliação de trocas gasosas foliares e fluorescência de clorofila *a* de plantas de soja, utilizando IRGA.

4.5.3. Pigmentos fotossintéticos

Aos 38 DAS foi avaliado o índice relativo de clorofila, utilizando o SPAD (Soil Plant Analysis Development) (Figura 7A). Em complemento, foram coletados discos foliares para análise de pigmentos fotossintéticos (teores de clorofila *a*, *b*, totais e carotenoides). Para tanto, foi utilizada a metodologia descrita por Wellburn (1994), coletando três discos foliares com o auxílio de um cilindro de metal vazado com diâmetro de 1cm; em seguida, colocados em frasco de vidro contendo 2,0 mL de solução do reagente dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com CaCO_3 e envolvidos em papel alumínio para proteção contra a radiação solar, depois guardados em uma caixa de isopor e mantidos no escuro até a análise em laboratório com espectrofotômetro (Figura 7B).

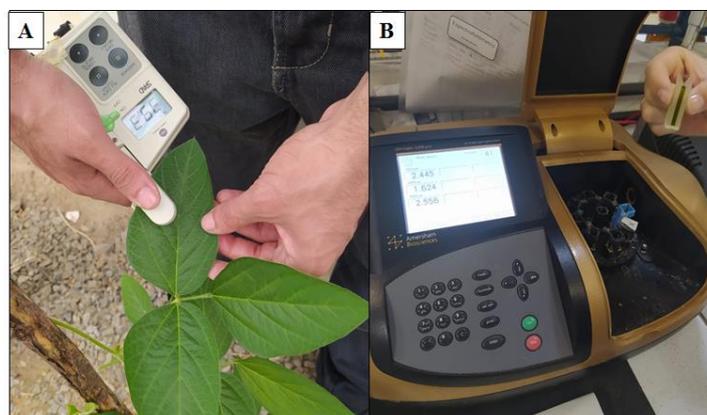


Figura 7. Avaliação do índice relativo de clorofila (A) e pigmentos foliares (B) de plantas de soja.

Os valores de clorofila a, b e total e de carotenoides foram estimados através das seguintes equações:

$$Ca = (12,47 \times A665) - (3,62 \times A649);$$

$$Cb = (25,06 \times A649) - (6,5 \times A665);$$

$$Ct = (7,15 \times A665) + (18,71 \times A649);$$

Carotenoides = $(1000 \times A480 - 1,29 \times Ca - 53,78 \times Cb)/220$, em que A representa a absorvância em um respectivo comprimento de onda sendo os valores obtidos em $\mu\text{g mL}^{-1}$ e expresso ao final em mg g^{-1} de matéria seca (MS).

4.5.4. Status hídrico e danos de membrana

O teor relativo de água (TRA) foi determinado como descrito por Altı (1960). Aos 38 DAS, nas primeiras folhas completamente expandidas, foram retirados 10 discos de 1,0 cm de diâmetro. Após pesagem e obtenção da massa fresca (MF), os discos foliares foram imersos em água destilada por 3 h até atingirem a massa túrgida (MT) (Figura 8A). Em seguida, os discos foram colocados em estufa a 60 °C durante 72 h, para obtenção da massa seca (MS). O TRA foi calculado pela fórmula: $\text{TRA} (\%) = [(MF-MS)/(MT-MS)] \times 100$.

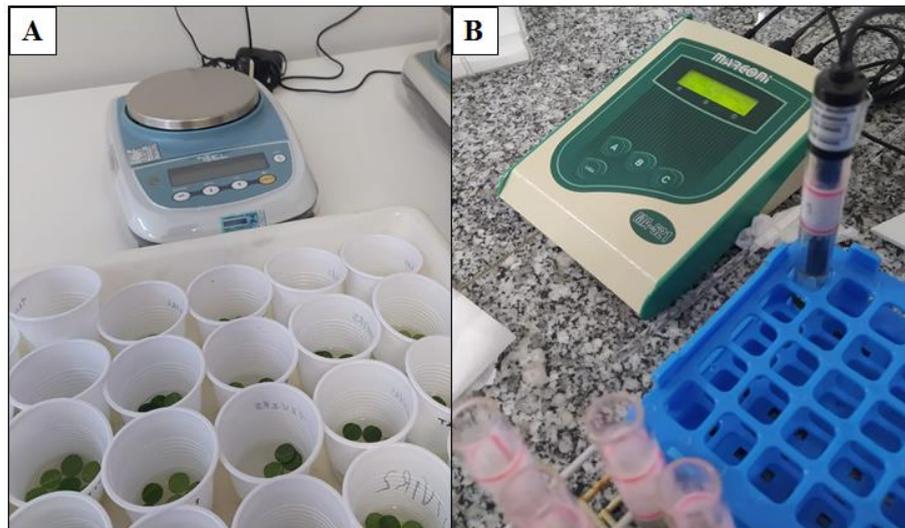


Figura 8. Avaliação do teor relativo de água (A) e extravasamento de eletrólitos (B) de plantas de soja.

Em complemento, foi realizado aos 38 DAS, a análise do nível de dano nas membranas provocado pelo estresse hídrico através do extravasamento de eletrólitos (Figura 8B). Para isso, foi seguida a metodologia descrita por Singh et al. (2007), onde foram retirados discos foliares (cerca de 100 mg) e colocados em tubos de ensaio contendo 10 mL de água deionizada e mantidos em repouso em temperatura ambiente por 2 horas. Decorrido esse tempo,

foi determinada a condutividade elétrica inicial (CE_1), através de um condutivímetro de bancada. Em seguida, os tubos contendo as amostras foram aquecidos a 95°C , por 30 minutos em banho maria, para obtenção das medidas da condutividade elétrica final (CE_2). O vazamento de eletrólitos (VE) foi estimado através da razão $(CE_1/CE_2) \times 100$.

4.6. Análise estatística e confecção dos gráficos

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativo pelo teste F realizou-se a análise de comparação de médias pelo teste de Tukey, por meio do programa computacional Assistat 7.6 Beta. Os gráficos foram confeccionados por meio do programa SigmaPlot versão 11.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Variáveis biométricas

Observando a análise de variância na Tabela 2, podemos verificar que para o fator isolado irrigação, todas as variáveis biométricas foram influenciadas significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, com exceção das variáveis diâmetro do caule (DC) e comprimento da raiz (CR) que foi significante ao nível de 5% apenas. Com relação ao fator isolado cultivares, foi observado que as variáveis altura (ALT), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) foram influenciadas significativamente pelo mesmo teste. Para a interação entre os fatores, nenhuma das variáveis foram influenciadas significativamente.

Tabela 2 - Análise de variância para altura de plantas (ALT), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), volume radicular (VR) e comprimento radicular (CR) de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio						
		ALT	DC	AF	MSPA	MSR	VR	CR
Irrigação (I)	1	779,69**	151,12ns	1618505**	39,91**	19,25**	2464,90**	143,26*
Cultivares (C)	3	7458,69**	143,09ns	219547**	4,01*	0,84**	25,20ns	70,88ns
Int. I x C	3	180,62ns	118,85ns	59116ns	0,52ns	0,27ns	3,03ns	1,04ns
Resíduo	32	97,65	119,23	35521	1,02	0,10	32,31	38,31
Total	39	-	-	-	-	-	-	-
Média Geral	-	72,55	8,03	1416,59	8,03	2,5	25,4	38,11
CV (%)	-	13,62	135,99	13,30	12,62	12,83	22,38	13,96

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para a altura das plantas nas duas condições hídricas (controle e déficit hídrico), verificou-se que as plantas irrigadas plenamente durante todo o período experimental apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico por sete dias, verificando uma diferença de 11,47% (Figura 9A). Em relação às cultivares estudadas, observou-se que a cultivar Monsoy 8644 apresentou os maiores valores de altura, em relação as demais cultivares, enquanto que as cultivares Monsoy 8349 e TMG 2383 apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si, e a Extrema IPRO obteve as menores médias. Ao comparar a cultivar 8644 com a Extrema IPRO, verifica-se uma superioridade de 58,24% (Figura 9B).

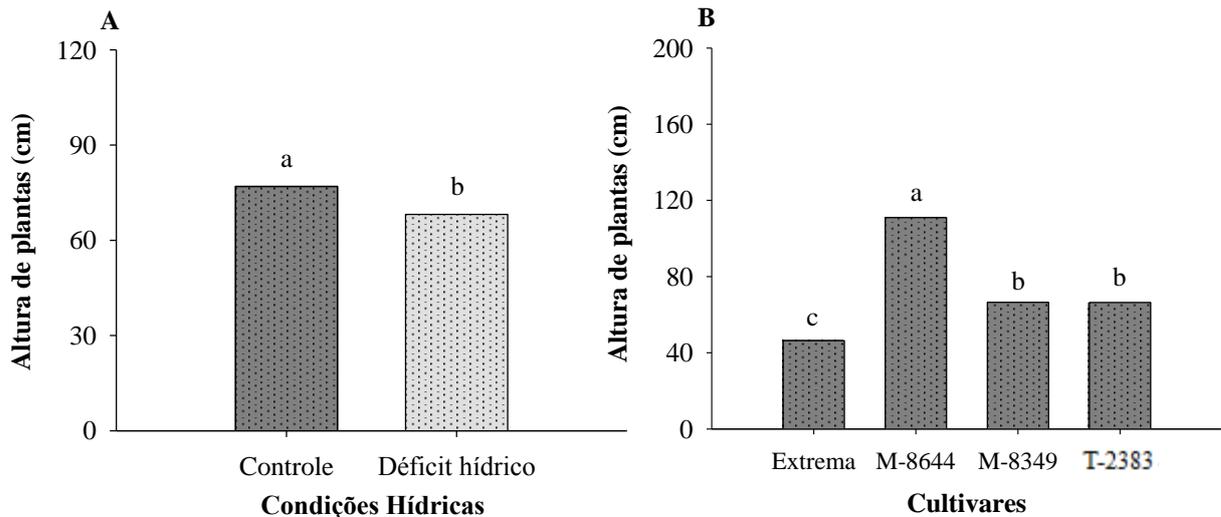


Figura 9. Efeito de duas condições hídricas na altura de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

A altura da planta é influenciada diretamente pela disponibilidade hídrica, devido a água ser o principal constituinte dos tecidos vegetais, estando ligada a manutenção da turgescência celular, fator relevante para a fotossíntese e conseqüentemente para o crescimento das plantas (BARBOSA et al, 2020). Nesse sentido, o déficit hídrico causa uma diminuição no crescimento das plantas, tendo em vista que afeta às trocas gasosas, a nutrição das plantas e a produção de amido e sacarose, sendo estes, as principais formas de armazenamento de carboidratos (STEIN; GRANOT, 2019).

Então, a redução da altura observada sob condições de déficit (Figura 9A) é explicada justamente pelo desbalanço nutricional e metabólico das plantas, no entanto, pode-se observar, que mesmo sob estresse, a cultivar Monsoy 8644 apresentou maior crescimento em relação às demais testadas (Figura 9B), entretanto, esses resultados não foram tão positivos e podem estar relacionados com uma má efetividade do sistema fotossintético e metabólico, uma vez que ela atingiu tamanhos muito além dos adequados. Segundo Rodrigues et al. (2016), o melhor desenvolvimento das plantas em condições ambientais desfavoráveis está relacionado com a plasticidade genética e essa característica pode contribuir para o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes.

Na avaliação da área foliar nas duas condições hídricas, notou-se que as plantas irrigadas durante todo o período experimental apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit, verificando uma diferença de 24,87% (Figura 10A). Em relação às cultivares estudadas, observou-se que a cultivar Monsoy 8644 e TMG 2383 apresentaram os maiores valores de área foliar, em relação as demais cultivares, enquanto que a cultivar Monsoy

8349 apresentou valores intermediários e a Extrema apresentou médias inferiores. Comparando as cultivares 8644 com a Extrema IPRO, é observado uma superioridade de 21,34% (Figura 10B).

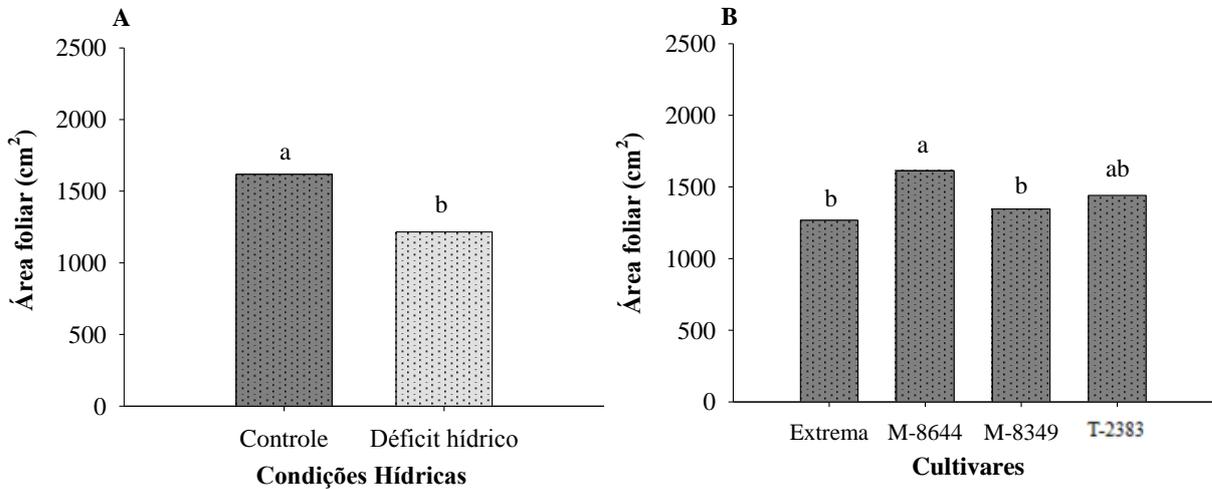


Figura 10. Efeito de duas condições hídricas na área foliar de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

A área foliar está diretamente ligada à produção de fotoassimilados, pois uma maior AF proporciona melhor desempenho fotossintético, que por sua vez contribui para uma melhor produção de grãos (GOBBI et al., 2019). Então, a baixa disponibilidade de água para a soja pode reduzir a produção de fotoassimilados, o que acarreta em uma consequente redução da área foliar e desenvolvimento vegetal, como um todo, o que pode ser facilmente observado na Figura 10A. Nesse sentido, Balardin et al. (2011), afirma que plantas de soja sob estresse hídrico reduzem a área foliar e o rendimento final da cultura.

Novamente, a cultivar Monsoy 8644 mostrou certa rusticidade ao regime de déficit hídrico, apresentando uma maior média de AF, o que pode contribuir para uma efetiva ação do sistema fotossintético. Plantas mais tolerantes ao estresse hídrico tendem a possuir uma maior área foliar, comparada com as demais na mesma condição, conforme Yokoyama et al. (2018), mostrando uma melhor eficiência no uso da água e produção de fotoassimilados.

Com relação a massa seca da parte aérea nas duas condições hídricas, constatou-se que as plantas sem estresse apresentaram médias superiores às plantas que sofreram sob estresse por sete dias, observando uma diferença de 22,15% (Figura 11A). Notou-se que a cultivar Monsoy 8644, apresentou os maiores valores de massa seca da parte aérea em relação a cultivar Extrema, enquanto que as cultivares Monsoy 8349 e TMG 2383 não diferiram estatisticamente da Monsoy 8644. Na comparação entre as cultivares 8644 e Extrema IPRO, é obtido uma superioridade de 16,29% (Figura 11B).

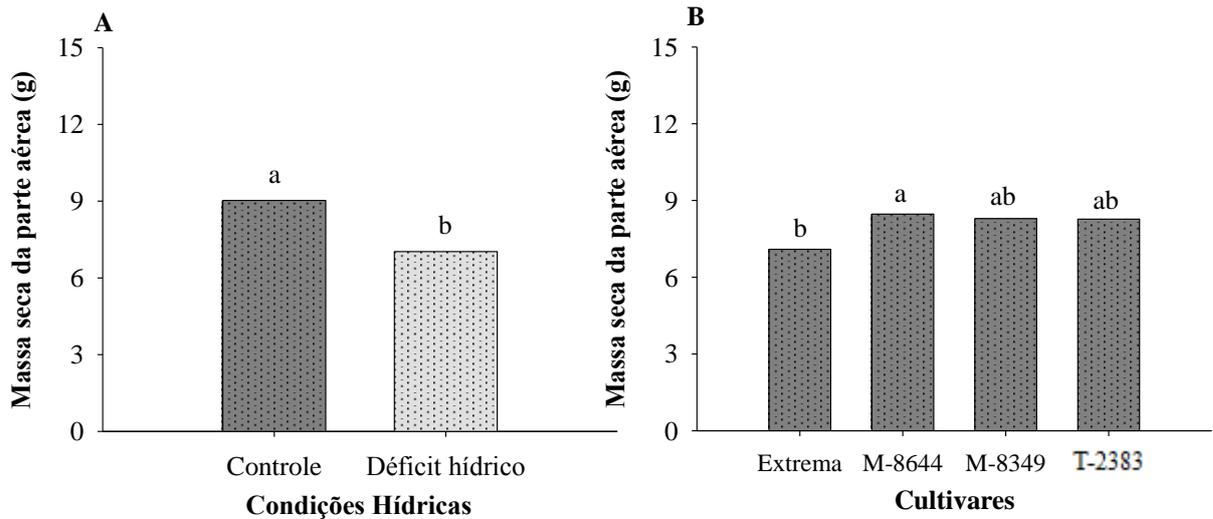


Figura 11. Efeito de duas condições hídricas na massa seca da parte aérea de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

De acordo com Morando et al. (2014), a falta de água afeta a eficiência do processo fotossintético, tanto de forma direta, com a desidratação do citoplasma, como indiretamente, devido ao fechamento estomático. Então, por conta do período de estresse hídrico, as plantas de soja apresentam uma redução da sua taxa fotossintética, o que por sua vez ocasiona uma redução na massa seca da parte aérea (AGOSTINETTO et al., 2020), o que explica os resultados encontrados na presente pesquisa (Figura 11A). Três cultivares apresentaram médias estatisticamente iguais, indicando uma melhor adaptação às condições de estresse, pois conseguiram obter uma maior massa seca na parte aérea da planta, devido um maior acúmulo de fotoassimilados.

Para a massa seca da raiz nas duas condições hídricas, é possível observar que as plantas sob condições controle apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit, obtendo-se uma diferença de 33,89% (Figura 12A). Já para as cultivares estudadas, observou-se que a cultivar TMG 2383 e Extrema apresentaram os maiores valores de massa seca da raiz, diferindo estatisticamente das demais cultivares, (Monsoy 8349 e Monsoy 8644). Ao compara as cultivares TMG 2383 com a Monsoy 8349, é observado uma superioridade de 20,14% (Figura 12B).

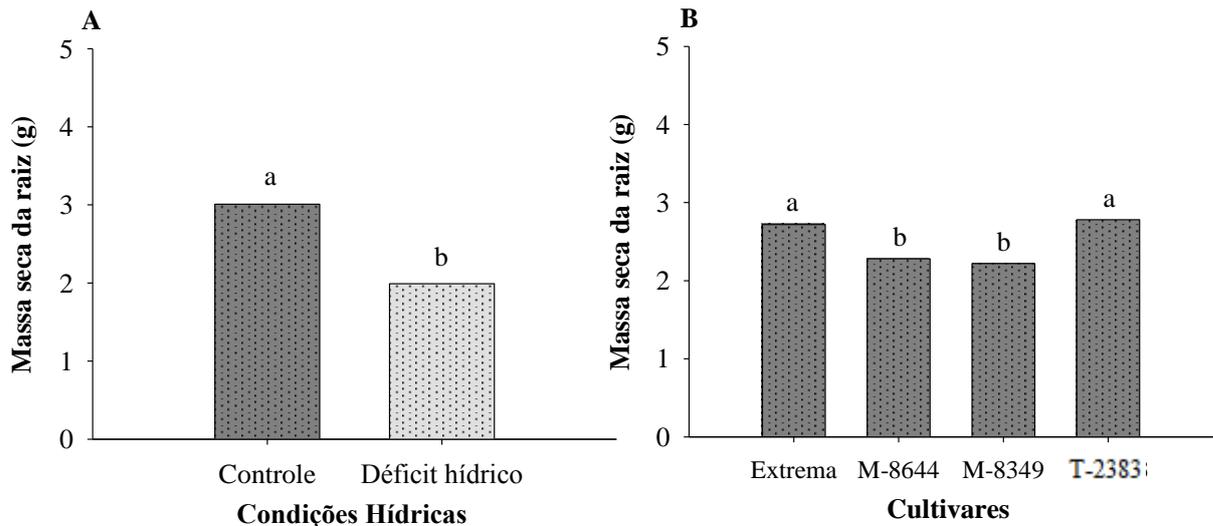


Figura 12. Efeito de duas condições hídricas na massa seca da raiz de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

Com uma maior disponibilidade de água, as plantas podem desenvolver uma maior massa radicular, de maneira a melhor aproveitá-la para desempenhar seus inúmeros processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos (VIÇOSI, 2017). A capacidade das plantas em explorar o solo buscando água e nutrientes é influenciada pela combinação de fatores como mudança do conteúdo de água, aeração e resistência mecânica do solo, o que limita o aprofundamento do sistema radicular e o volume de solo explorado pelas raízes (STEFANOSKI et al., 2013). Nesse sentido, as cultivares Extrema IPRO e TMG 2383 mostraram um maior acúmulo de matéria seca das raízes, devido a uma melhor capacidade de converter nutrientes para o desenvolvimento radicular (KURIHARA et al., 2013), o que pode contribuir para absorção de água em ambientes estressantes. Pode-se notar que a cultivar Extrema que apresentou o menor crescimento da parte aérea mostrou um melhor desenvolvimento no sistema radicular o que indica uma melhor adaptabilidade.

Nas avaliações do volume radicular e do comprimento radicular nas duas condições hídricas (controle e déficit hídrico) foi observado respostas semelhantes para ambas variáveis, em que as plantas submetidas a condições hídricas adequadas apresentaram as maiores médias em comparação àquelas que a irrigação foi suspensa por sete dias. Fazendo uma comparação entre as condições hídricas, podemos observar uma diferença de 47,22% com relação ao volume radicular (Figura 13A) e de 9,47% para o comprimento radicular (Figura 13B).

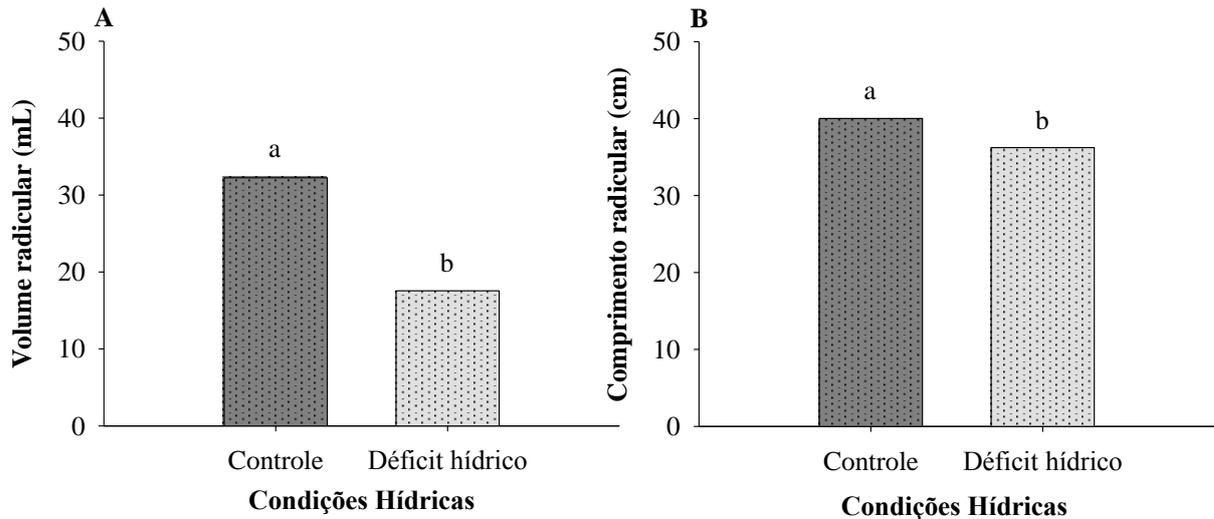


Figura 13. Efeito de duas condições hídricas no volume (A) e comprimento radicular (B) de plantas de soja, Fortaleza - CE, 2021.

A redução no nível de água do solo é notada, primeiramente, pelo sistema radicular que emite sinais químicos à parte aérea, para dar início às respostas adaptativas, entretanto, essas respostas ao déficit hídrico irão depender da intensidade e duração do mesmo, bem como da adaptação da espécie e do seu estágio de desenvolvimento (FERRARI, 2015). Nesse sentido, as plantas que estavam sob condições hídricas adequadas puderam desenvolver melhor tanto seu volume como o seu comprimento radicular (Figura 14) devido a maior disponibilidade de água, tendo em vista que conforme Eilert et al. (2020), a falta de água ocasiona um estresse que pode reduzir o alongamento da raiz e a expansão da área foliar em plantas.



Figura 14. Comprimento e volume radicular de plantas de soja sob condições de controle e déficit hídrico, respectivamente, Fortaleza - CE, 2021.

5.2. Variáveis fisiológicas (trocas gasosas foliares e fluorescência da clorofila *a*)

Em relação a análise de variância apresentada na Tabela 3, podemos verificar que para o fator isolado irrigação, todas as variáveis de trocas gasosas foram influenciadas significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, exceto a variável eficiência do uso da água (EUA). No que refere-se ao fator isolado cultivares, foi observado que apenas as variáveis razão C_i/C_a e EUA não foram influenciadas significativamente. Para a interação entre os fatores, todas as variáveis foram influenciadas significativamente ao nível de 1% de probabilidade, exceto a fotossíntese.

Tabela 3 - Análise de variância para fotossíntese (*A*), condutância estomática (g_s), transpiração (*E*), razão da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a), eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) e eficiência do uso da água (EUA) de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio					
		<i>A</i>	g_s	<i>E</i>	C_i/C_a	E_iC	EUA
Irrigação (I)	1	666,31**	0,77**	185,63**	0,04**	0,006**	0,21ns
Cultivares (C)	3	49,94**	0,03**	7,47**	0,003ns	0,0005**	0,03ns
Int. I x C	3	13,95ns	0,02**	7,25**	0,014**	0,0003*	0,38**
Resíduo	32	5,73	0,005	1,16	0,002	0,00009	0,06
Total	39	-	-	-	-	-	-
Média Geral	-	16,90	0,40	8,21	0,76	0,06	2,10
CV (%)	-	14,16	18,16	13,10	5,68	16,20	11,80

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para a fotossíntese nas duas condições hídricas (controle e sob déficit hídrico), verificou-se que as plantas irrigadas plenamente durante todo o período experimental apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico por sete dias, verificando uma diferença de 38,89% (Figura 15A). Em relação às cultivares estudadas, observou-se que a Extrema IPRO e Monsoy 8349 apresentaram as maiores médias de fotossíntese, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente da TMG 2383, enquanto que a cultivar Monsoy 8644 obteve as menores médias. Ao comparar a Extrema com a Monsoy 8644, verifica-se uma superioridade de 24,86% (Figura 15B).

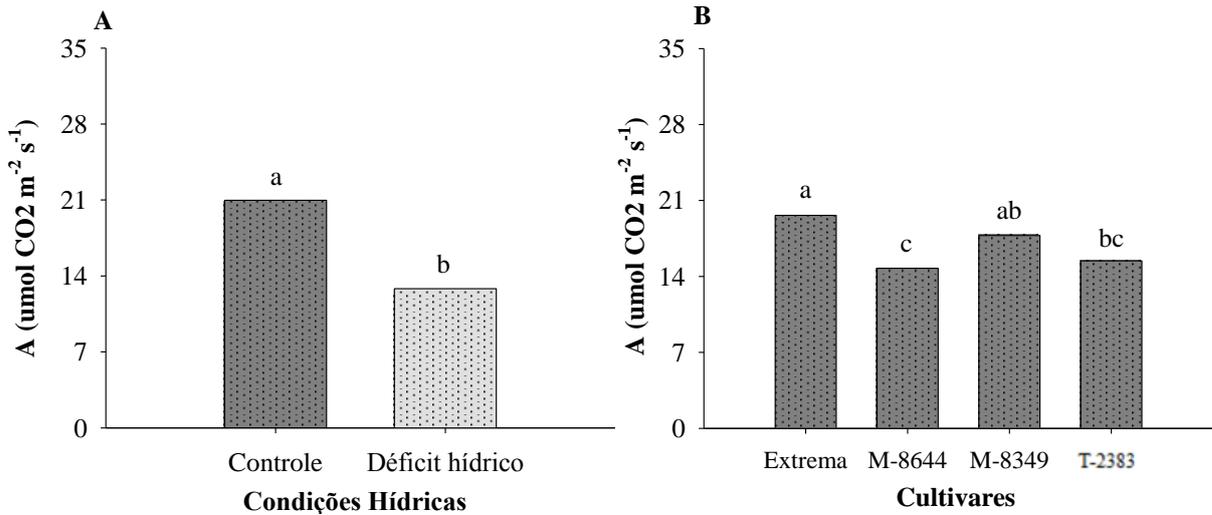


Figura 15. Efeito de duas condições hídricas na fotossíntese de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

A água é um dos principais fatores limitantes das trocas gasosas, tendo em vista que uma das primeiras respostas funcionais da planta é o fechamento estomático, e isso consequentemente causará redução na fixação de CO₂ atmosférico e consequentemente a fotossíntese das plantas (TAIZ et al., 2017). Em complemento, Cabral (2019) afirma que a cultivar Extrema IPRO apresenta características positivas para a região Nordeste, tendo em vista que apresenta elevado potencial de recuperação das plantas após períodos de déficit hídrico. Então, os resultados positivos para as plantas sob condições de controle podem ser explicados pelo efeito direto no potencial hídrico da planta, o que refletiu em uma maior fotossíntese (Figura 15A), já para às cultivares (Figura 15B), podemos associar as maiores médias da Extrema IPRO aos fatores adaptativos, descritos por Cabral (2019), que promoveram as maiores médias de fotossíntese, dos parâmetros de fluorescência *a* e dos teores de clorofila mesmo sob condições de DH.

Para condutância estomática (Figura 16A) e transpiração (Figura 16B) foram observadas respostas semelhantes, em que as cultivares que estavam sob condições de controle apresentaram médias superiores em relação às plantas submetidas ao déficit hídrico, porém não houve diferença significativa para nenhuma das variáveis avaliadas em condições de controle. Já avaliando as cultivares submetidas ao déficit hídrico, foi verificado que as cultivares Extrema IPRO e Monsoy 8349 apresentaram médias superiores para *g_s* em relação as demais cultivares (Figura 16A) e para transpiração, novamente a cultivar Extrema IPRO apresentou maior média (Figura 16B). Ao comparar a Extrema IPRO com a Monsoy 8644, em condições de déficit

hídrico, verifica-se uma superioridade de 57,13% para condutância estomática e 43,53% para transpiração.

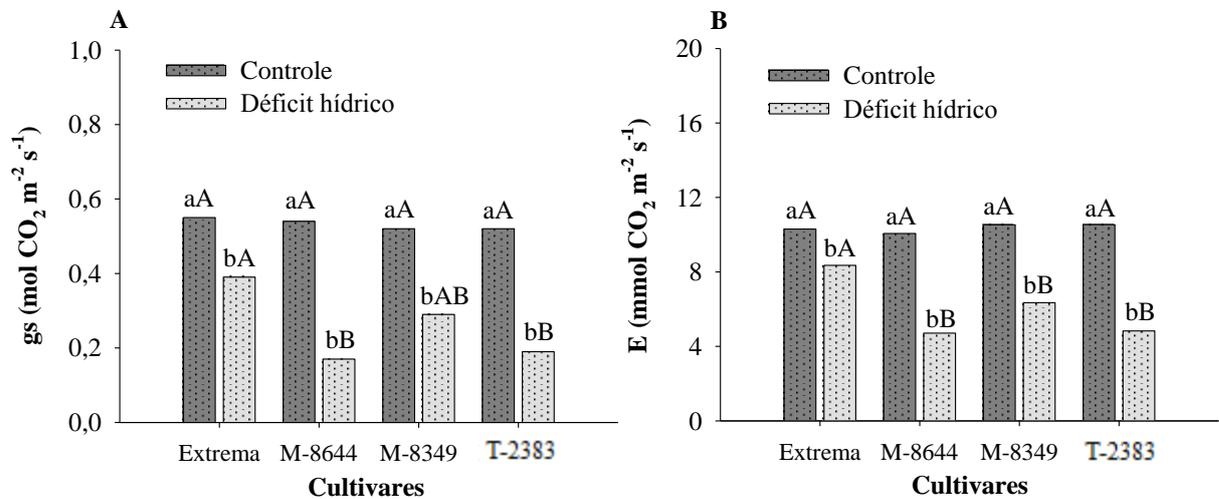


Figura 16. Condutância estomática (A) e transpiração (B) de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. **Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

As variáveis de condutância estomática e transpiração são correlacionadas pelo simples fato de que a medida que a planta abre seus estômatos para fixação do CO₂ e realização da fotossíntese, temos a transpiração (perda de água) como consequência desse processo (BARBOZA; TEIXEIRA FILHO, 2017). Os resultados apresentados na presente pesquisa, indicam que a medida que houve imposição do déficit hídrico, as plantas fecharam seus estômatos, e como resposta, houve também redução da taxa transpiratória, no entanto, é perceptível que a cultivar Extrema IPRO mesmo sob condições de déficit, conseguiu manter seus estômatos abertos para fixação de CO₂, mesmo que limitada, refletindo positivamente nos valores de fotossíntese.

No que se refere à razão Ci/Ca, as cultivares avaliadas não apresentaram diferença estatística sob condições de controle, no entanto sob déficit hídrico, a cultivar Monsoy 8644 apresentou as menores médias em relação às demais cultivares (Figura 17A). Já para a eficiência instantânea de carboxilação, podemos notar que sob condições de controle, as cultivares apresentaram médias absolutas superiores às submetidas ao déficit hídrico, com destaque para as cultivares Extrema IPRO que também apresentou bons resultados nas variáveis fisiológicas anteriores e Monsoy 8349 (Figura 17B). Já sob condições de déficit hídrico, a cultivar Extrema IPRO apresentou média estatisticamente superior a TMG 2383, com superioridade de 36,87% e não diferindo estatisticamente das demais cultivares testadas.

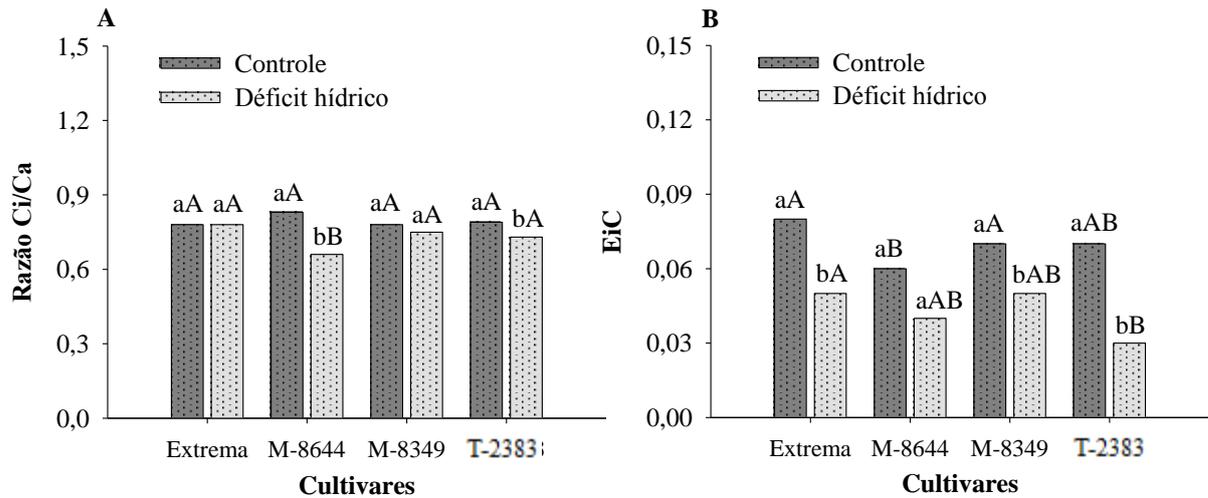


Figura 17. Razão Ci/Ca (A) e eficiência instantânea de carboxilação (B) de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. **Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

A relação Ci/Ca pode ser utilizada para explicar, parcialmente, as respostas fisiológicas da planta em função de limitações difusionais ou bioquímicas (COSTA et al., 2020). Considerando que a concentração de CO₂ ambiente permaneça estável, a redução da Ci/Ca observada no cultivar Monsoy 8644 pode ter sido uma resposta adaptativa para manter a eficiência do aparato fisiológico podendo estar relacionada à questão difusional (estomática) pois foi a cultivar que apresentou menor condutância. Esse resultado significa dizer que o aparato fotossintético está em pleno funcionamento e que sua fotossíntese está sendo limitada pela redução da condutância estomática, apesar do CO₂ estar sendo eficientemente fixado, pois houve redução proporcional entre g_s e Ci. Estes resultados, foram semelhantes aos encontrados por Jacinto Júnior et al. (2019), que trabalhando com genótipos de fava sob déficit hídrico, planta da mesma família da soja, observaram que os genótipos Mulatinha, Preta e Coquinho Laranja mantiveram a eficiência do seu aparato bioquímico através da redução da razão Ci/Ca.

Já a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) está diretamente relacionada com a taxa de assimilação de CO₂ e sua concentração interna na folha, onde valores superiores podem ser associados com o aumento na condutância estomática, o que é facilmente perceptível através da Figura 16A, ocorrido em função da disponibilidade de ATP, NADPH e do substrato para a Rubisco (SILVA et al., 2015). Dessa forma, podemos associar os maiores valores da EiC, encontrados nas plantas controle (Figura 17B), ao fato das mesmas estarem sob condições hídricas adequadas, contribuindo para a plena atividade do aparato fotossintético e atividade da enzima Rubisco.

Em relação à EUA, em condições de controle, a cultivar Extrema IPRO apresentou superioridade estatística de 20,67% em relação a cultivar Monsoy 8644, não diferindo estatisticamente das demais cultivares (Figura 18). Sob condições de déficit hídrico, houve uma inversão dos resultados, em que a cultivar Monsoy 8644 apresentou uma superioridade estatística de 18,46% e 17,58%, em comparação às cultivares Extrema IPRO e TMG 2383, respectivamente, não diferindo estatisticamente do cultivar Monsoy 8349.

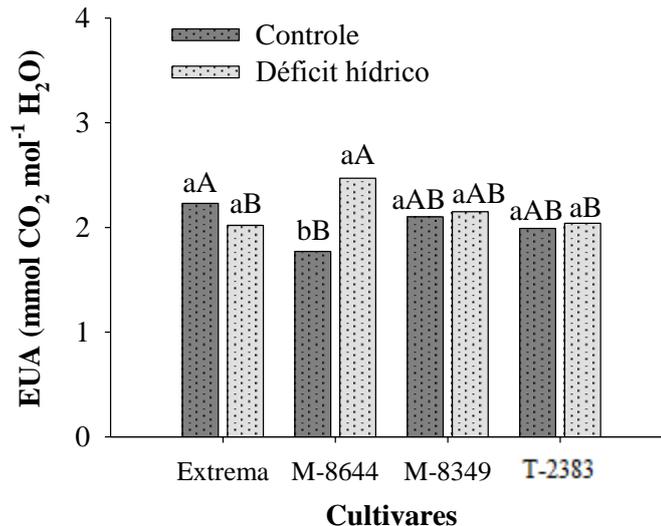


Figura 18. Eficiência do uso da água de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. **Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

A manutenção do status hídrico da planta e consequentemente da eficiência do uso da água (EUA) é uma estratégia crucial dos vegetais para maior tolerância ao déficit hídrico e isso pode estar também associado com a redução da abertura estomática, uma vez que a planta ao fechar seus estômatos, reduz a perda de água para a atmosfera e aumenta a EUA (TAIZ et al., 2017). Então, a certa estabilidade dessa variável observada nas condições de déficit hídrico (Figura 18), possivelmente podem ser explicados pela redução da g_s ocasionada pela imposição do estresse hídrico. Os resultados da presente pesquisa concordam com os encontrados por Castro (2016), que avaliando a resistência ao déficit hídrico e à temperatura em cultivares de soja, verificou estabilidade da EUA e redução da g_s para duas das cultivares testadas. Vale ressaltar o destaque da cultivar Monsoy 8644 que sob DH aumentou significativamente a EUA em relação ao controle, o que também está relacionado à sua eficiência no controle estomático.

Conforme a análise de variância exibida na Tabela 4, podemos verificar que para o fator isolado irrigação, apenas a variável razão F_v/F_m foi influenciada significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Com relação ao fator isolado cultivares, foi

observado que apenas as variáveis razão Fv/Fm e quenching não-fotoquímico (qN) não foram influenciadas significativamente. A respeito da interação entre os fatores, apenas a variável coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ) foi influenciada significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Análise de variância para eficiência fotoquímica potencial do PSII (Fv/Fm), rendimento quântico efetivo do FSII (ϕ FSII), taxa de transporte de elétrons (ETR), quenching fotoquímico (qP), quenching não-fotoquímico (qN) e o coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ) de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio					
		Fv/Fm	ϕ FSII	ETR	qP	qN	NPQ
Irrigação (I)	1	0,65**	0,002ns	1021,53ns	0,01ns	0,09ns	0,06ns
Cultivares (C)	3	0,0005ns	0,006*	2792,20*	0,03**	0,05ns	0,02ns
Int. I x C	3	0,001ns	0,001ns	435,39ns	0,004ns	0,12ns	0,26*
Resíduo	32	0,00057	0,001	731,48	0,006	0,06	0,07
Total	39	-	-	-	-	-	-
Média Geral	-	0,82	0,28	184,17	0,52	0,71	1,17
CV (%)	-	2,89	14,67	14,69	14,85	35,70	22,58

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Ao avaliar a razão Fv/Fm das plantas nas duas condições hídricas (controle e sob déficit hídrico), verificou-se que as plantas em condições de controle apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico por sete dias, verificando uma diferença de 9,33% (Figura 19A). Em relação ao rendimento quântico efetivo do FSII nas cultivares estudadas, observou-se que a Extrema IPRO, TMG 2383 e Monsoy 8349 apresentaram as maiores médias, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente da Monsoy 8644. Ao comparar a Extrema IPRO com a Monsoy 8644, verifica-se uma superioridade de 18,13% (Figura 19B), vale ressaltar que essa última apresentou uma baixa eficiência fotoquímica, por isso os valores de fotossíntese apresentaram-se inferiores.

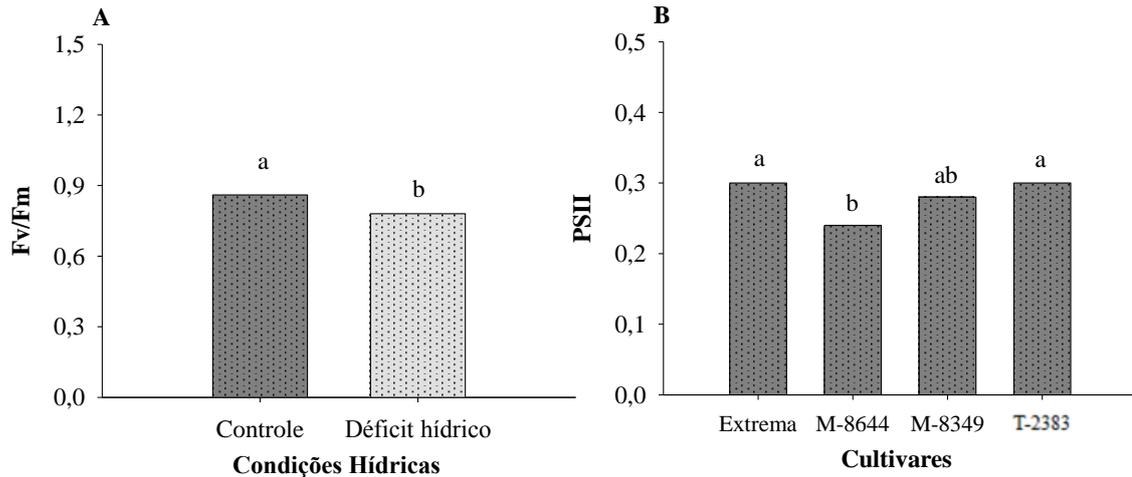


Figura 19. Efeito de duas condições hídricas na razão Fv/Fm (A) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II de quatro cultivares de soja (B), Fortaleza - CE, 2021.

Segundo Krause & Weis (1991), em condições de estresse, as plantas apresentam decréscimo na eficiência quântica potencial do fotossistema II, sendo detectada pela queda na relação Fv/Fm, o que pode ser facilmente confirmada pela presente pesquisa, através dos dados da razão Fv/Fm (Figura 19A). Por sua vez, as cultivares diferenciaram-se nos valores de PSII, indicando maior danos fotoinibitórios para a cultivar Monsoy 8644 (Figura 19B), o que pode explicar suas menores médias para a variável fotossíntese (Figura 15B), pois ao apresentar danos fotoinibitórios, uma das primeiras consequências do mesmo é a formação de espécies reativas de oxigênio, que limitam a atividade fotossintética (BATRA et al., 2014).

Em relação à taxa de transporte de elétrons (Figura 20A) e quenching fotoquímico (Figura 20B) foram observadas respostas semelhantes, em que as cultivares Extrema IPRO e TMG 2383 apresentaram médias superiores em relação à cultivar Monsoy 8644, tanto para a ETR quanto para o qP. Ao comparar a cultivar Extrema IPRO, que apresentou as maiores médias (em termos absolutos) com a cultivar Monsoy 8644, podemos verificar uma diferença estatística de 18,13% e 19% para ETR e qP, respectivamente.

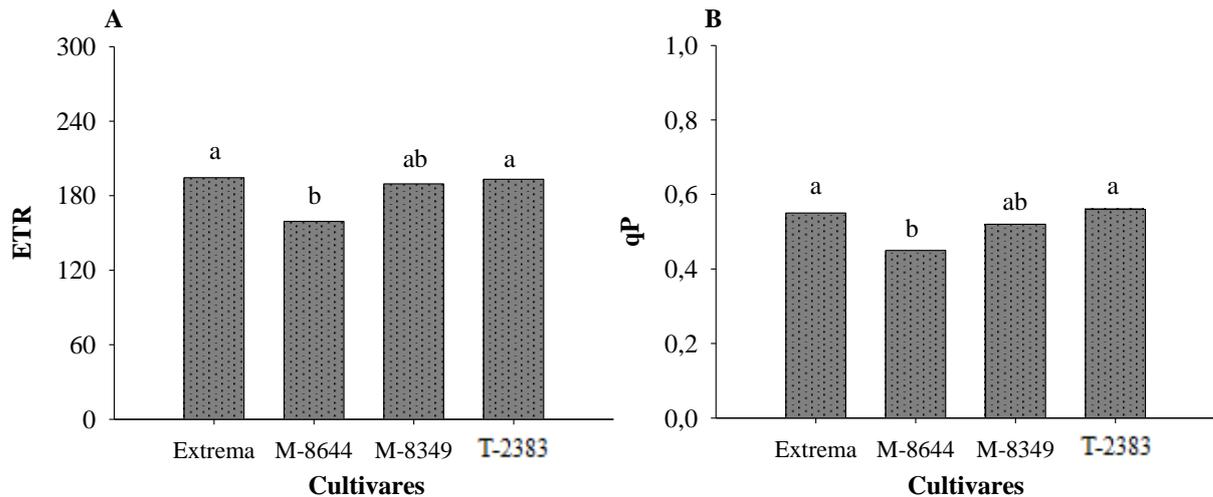


Figura 20. Taxa de transporte de elétrons (A) e quenching fotoquímico (B) de quatro cultivares de soja, Fortaleza - CE, 2021.

De modo geral, o que se percebe é que a eficiência fotossintética da Monsoy 8644 não é tão boa quanto às demais cultivares, mas o que ela produz na fotossíntese é suficiente para promover maior altura, maior área foliar, maior massa seca da parte. Então, a baixa fotossíntese está sendo muito influenciada pela eficiência do aparato fotossintético, da fase fotoquímica. Segundo Rahbarian et al. (2011), a redução da taxa de transporte de elétrons e do quenching fotoquímico indicam uma baixa regulação da fotossíntese, ocasionada pela inativação da atividade do FSII, devido uma menor adaptabilidade da cultivar Monsoy 8644 à condições ambientais adversas. Nesse sentido, Bastos et al. (2017) avaliando a ação de osmoprotetores na fluorescência da clorofila *a* em plantas de feijão submetidas à supressão hídrica, verificaram redução linear tanto do ETR quanto do qP em função do período de supressão hídrica.

5.3. Pigmentos foliares e status hídrico da planta

Pode-se observar na análise de variância apresentada na Tabela 5, que para o fator isolado irrigação, apenas a variável carotenoides foi não significativo, todas as demais variáveis foram influenciadas significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F. Já com relação ao fator cultivares, apenas a clorofila total e o índice relativo de clorofila foram significativos no teste F. Ao avaliar a interação entre os fatores, podemos observar que somente a variável clorofila *a* apresentou significância pelo teste F.

Tabela 5 - Análise de variância para clorofila *a* (*Cl_a*), clorofila *b* (*Cl_b*), clorofila total (*Cl_t*), carotenoides (*Car*), índice relativo de clorofila (*IRC*), extravasamento de eletrólitos (*EE*) e teor relativo de água (*TRA*) de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio						
		<i>Cl_a</i>	<i>Cl_b</i>	<i>Cl_t</i>	<i>Car</i>	<i>IRC</i>	<i>EE</i>	<i>TRA</i>
Irrigação (I)	1	25,41**	203,57**	325,63**	0,21ns	142,51**	52,58**	615,82**
Cultivares (C)	3	6,07ns	13,56ns	27,05*	0,33ns	41,11**	3,13ns	28,45ns
Int. I x C	3	12,69**	6,12ns	32,92*	0,31ns	4,71ns	5,12ns	4,35ns
Resíduo	32	2,46	3,33	7,98	0,11	4,95	3,69	39,84
Total	39	-	-	-	-	-	-	-
Média Geral	-	8,19	7,88	15,59	1,65	36,69	16,47	79,70
CV (%)	-	19,14	23,15	18,12	20,3	6,06	11,66	7,92

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Em relação ao teor de clorofila *a* (Figura 21A) para as quatro cultivares submetidas às duas condições hídricas, observa-se que apenas a cultivar Monsoy 8349 apresentou alteração significativa, em que as plantas plenamente hidratadas apresentaram médias superiores às que sofreram déficit hídrico, com diferença de 40,17%. Para o teor de clorofila *b*, as plantas que estavam sob condições de controle apresentaram superioridade de 44,47% (Figura 21B).

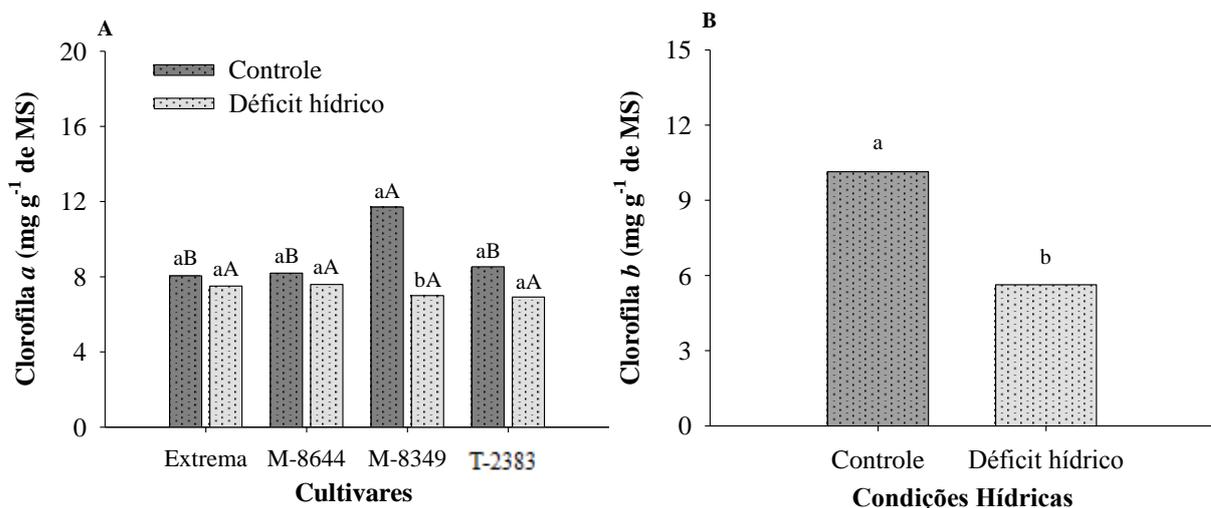


Figura 21. Teores de clorofila *a* (A) e *b* (B) de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. **Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

Segundo Pincelli (2010) a deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis pela diminuição de pigmentos nas folhas, fazendo com que o ciclo de vida da planta seja alterado. Isso possivelmente ocorre pelo fato da água apresentar papel fundamental no processo de absorção de nutrientes, dentre eles, nitrogênio e magnésio, cruciais para a síntese de clorofila. Então, os resultados negativos apresentados no presente trabalho para o teor de clorofila b (Figura 21B), estão associados ao efeito do déficit hídrico.

Para o teor de clorofila total das quatro cultivares nas duas condições hídricas (Figura 22), podemos observar que as cultivares Extrema IPRO e Monsoy 8644 não diferiram estatisticamente independente da condição hídrica, indicando uma certa adaptabilidade dos teores de clorofila mesmo sob estresse. Porém, ao avaliar as cultivares sob condições de controle, verificou-se que a cultivar Monsoy 8349 apresentou a maior média absoluta em relação às demais testadas, não diferindo estatisticamente da TMG 2383 e ao comparar a cultivar Monsoy 8349 com as cultivares Extrema IPRO e Monsoy 8644, verifica-se uma diferença significativa de 31,91 e 31,13%, respectivamente, nas condições de controle.

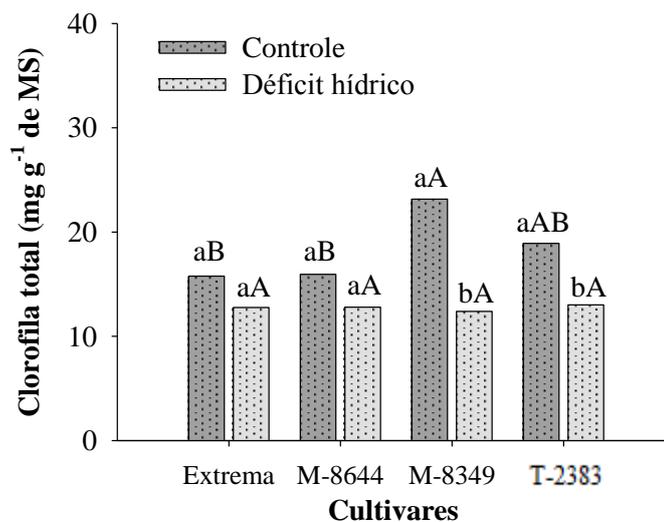


Figura 22. Teores de clorofila total de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. *Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

Um dos fatores relacionados à eficiência da fotossíntese nas plantas e por consequência no crescimento e adaptação à diferentes ambientes é a clorofila, um fundamental componente celular, que atua de forma direta na fotossíntese e uma maior quantidade desse pigmento na planta indica uma boa eficiência fisiológica (SOUSA et al., 2015). A redução na concentração de clorofila é um dos efeitos primários do DH e em plantas sujeitas a estresse hídrico, nota-se superprodução de radicais livres nos cloroplastos, o que causaria reações

oxidativas tóxicas mediadas por O_2^- e/ou H_2O_2 que prejudicariam as membranas celulares, em particular a membrana dos tilacóides, que é onde as clorofilas estão contidas.

Nesse sentido, as cultivares Monsoy 8349 e a TMG 2383 apresentaram uma diferença entre as plantas controle e as submetidas ao déficit, devido a uma possível formação elevada de espécies reativas de oxigênio (EROs) em condições de estresse, tendo em vista que as EROs podem gerar prejuízos nos pigmentos fotossintéticos e nas estruturas celulares, dessa forma, explicando, a redução dos teores de clorofila total (SILVA et al., 2016).

Na avaliação do índice relativo de clorofila foi observado que as plantas em condições de controle apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico, atingindo uma superioridade de 9,77% (Figura 23A). Em relação às cultivares, foi notado que as cultivares Monsoy 8349 e TMG 2383 apresentaram as maiores médias em termos absolutos, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente das cultivares Extrema IPRO e Monsoy 8644. Ao comparar a cultivar Monsoy 8349 com a Extrema IPRO, verifica-se uma superioridade de 12,09% (Figura 23B).

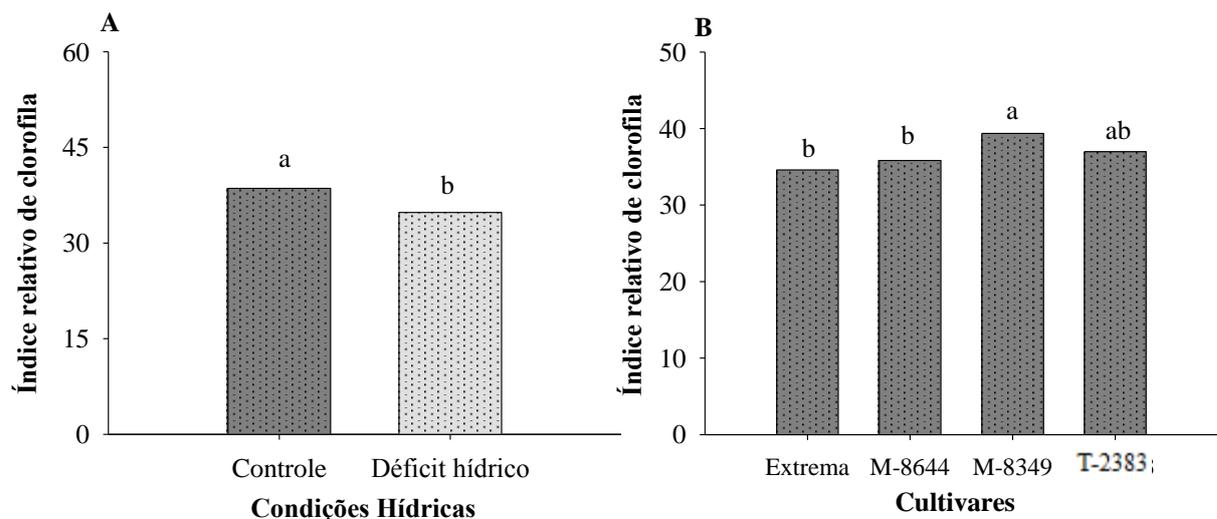


Figura 23. Efeito de duas condições hídricas no índice relativo de clorofila de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

O índice relativo de clorofila é afetado diretamente pelo déficit hídrico, uma vez que a água desempenha papel fundamental na absorção de nutrientes que proporcionam uma maior produção de clorofila pela planta, estando ligada também a menor área foliar específica (CAMPELO et al., 2018). Assim, os resultados obtidos corroboram com essa afirmação, pois sob condições de déficit hídrico as plantas de soja reduziram seu teor relativo clorofila (Figura 23A). Entre as cultivares avaliadas, a Monsoy 8349 e a TMG 2383 obtiveram os melhores

desempenhos, mas isso não foi refletido em fatores positivos no crescimento e trocas gasosas das plantas.

No que diz respeito ao extravasamento de eletrólitos (EE), notou-se que as plantas que estavam sob condições de controle apresentaram médias inferiores as que sofreram de déficit hídrico, observando-se uma diferença de 13,05%, indicando que as mesmas apresentaram menor nível de dano na membrana (Figura 24A). Já com relação ao teor relativo de água, as plantas sob déficit hídrico apresentaram médias inferiores às plantas que estavam sob condições de controle, observando uma diferença de 9,37% (Figura 24B), corroborando com os resultados de extravasamento de eletrólitos, pois um menor TRA pode ter influenciado negativamente o EE.

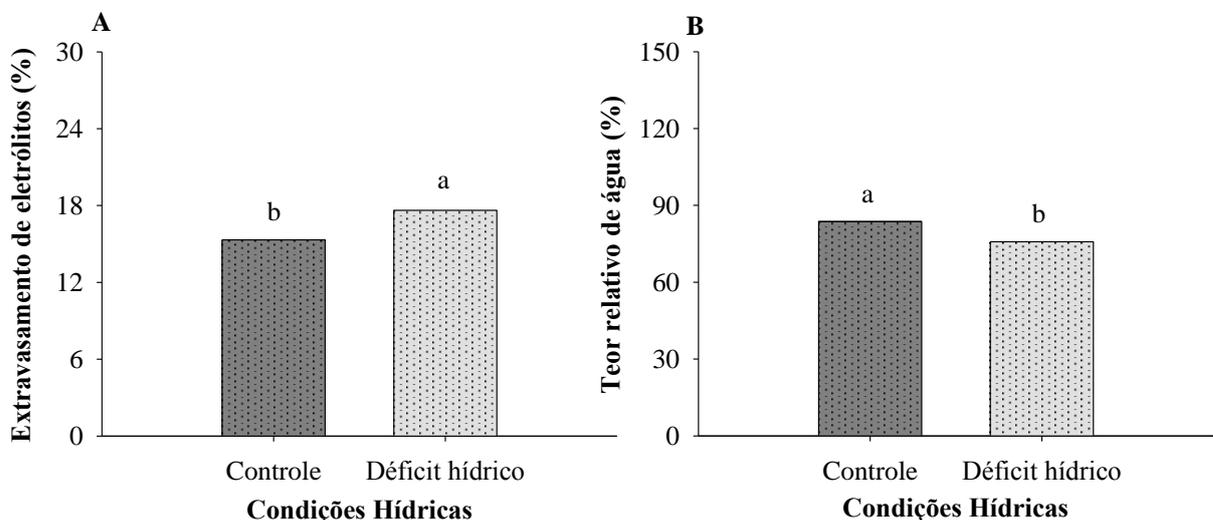


Figura 24. Efeito de duas condições hídricas no extravasamento de eletrólitos (A) e teor relativo de água (B) de plantas de soja, Fortaleza - CE, 2021.

As plantas submetidas ao estresse hídrico mostraram maiores valores de extravasamento, por conta do aumento da concentração de eletrólitos em células foliares e consequentes danos nas membranas, em razão da redução do componente osmótico do potencial hídrico foliar. O ajuste osmótico é reflexo disso, ele varia conforme os diferentes materiais genéticos de soja e nem sempre consegue realizar de forma adequada a equalização hídrica foliar (FIOREZE et al., 2013). Nesse sentido, o teor relativo de água indica o conteúdo de água que se encontra nas folhas, conforme o déficit hídrico é intensificado, a planta passa por um processo de desidratação do protoplasma, o que pode ocasionar prejuízos em processos fisiológicos (MOURA et al, 2016). Devido a isso, as plantas em irrigação plena apresentaram maiores médias que as sob estresse hídrico (Figura 24B).

6. CONCLUSÕES

O déficit hídrico é desfavorável para desempenho fisiológico e crescimento nas plantas de soja, independente da cultivar.

As cultivares Monsoy 8349 e Extrema IPRO demonstraram ser mais estáveis à escassez hídrica, apresentando melhores resultados biométricos e fisiológicos, indicando certa tolerância ao déficit hídrico.

A cultivar Monsoy 8644 apresentou menor estabilidade fisiológica, além de atingir uma altura acima da adequada, o que é desfavorável para a colheita e também pode acarretar em uma menor produção de grãos.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D.; RUCHEL, Q.; FRAGA, D. S.; VARGAS, A. A. M.; VARGAS, L. Water deficit and plant recovery affect interaction between soybean and slender amaranth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, n.4, p.1-9, 2020.
- ALMEIDA NETO, I. P.; ANDRADE, M. L.; SOUSA, J. S.; SILVA, S. S.; ANDRADE, A. B. A. Avaliação das características morfológicas mudas de cajueiro sob déficit hídrico em condições de semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.1, p.8-11, 2015.
- BALARDIN, R. S.; SILVA, F. D. L.; DEBONA, D.; CORTE, G. D.; FAVERA, D. D.; TORMEN, N. R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Revista Ciência Rural**, v.41, n.7, p.1120-1126, 2011.
- BARBOSA, J. R.; PEREIRA FILHO, J. V.; OLIVEIRA, V. M.; SOUSA, G. G.; GOES, G. F.; K. N. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.4, p. 4200 – 4210, 2020.
- BARBOZA, G. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração foliar e condutância estomática da cana-de-açúcar em função do clima e disponibilidade de água. **Irriga**, v.22, n.4, p.675-689, 2017.
- BASTOS, F. J. C.; SOARES, F. A. L.; TAVARES, C. J.; MOURA, L. M. F.; CRISPIM FILHO, A. J.; SILVA FILHO, R. O. Estudo da ação de osmoprotetores na fluorescência da clorofila a em plantas de feijão submetidas à supressão hídrica. **Anais... IV Inovagri International Meeting**, p.1-9, 2017.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G.; WOLLMANN, C. A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, v.43, n.3, p.390-396, 2013.
- BATRA, N.G.; SHARMA, V.; KUMARI, N. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and thylakoid membrane proteins of *Vigna radiate*. **Journal of Plant Interactions**, v.9, n.1, p.712-721, 2014.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, n.2, p.365-372, 2000.
- CABRAL, M. S. **Geração de demanda das cultivares de soja brasmax no oeste baiano**. Monografia graduação em agronomia Universidade Federal do Tocantins, 2019. 33p.
- CAMARGO, L.M.; NEUMAIER, N.; GIANELLI, F.M.; FÁVARO, F.N.; PINHEIRO B.C.; TOLEDO, C.F.; DELATTRE, N.; OLIVEIRA, M.C.N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. Teor relativo de água em cultivares de soja sob três níveis de disponibilidade hídrica no solo. **V Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, p.102-104, 2010.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Características morfofisiológicas foliares e estado

nutricional de seis espécies lenhosas em função da disponibilidade de água no solo. **Ciência Florestal**, v.28, n.3, p.924-936, 2018.

CANTELLI, K. C. **Caracterização de linhagens de soja *glycine max* (L.) Merrill para produção de brotos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos da URI – Erechim, 2016. 62p.

CARMELLO, Q. A. C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Revista Visão Agrícola**, v.3, n.5, p.8-11, 2006.

CASTRO, J. N. **Resistência ao déficit hídrico e à temperatura supraótima em cultivares de soja**. 2016. 49f. Dissertação (mestrado), Instituto Federal Goiano, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, 2016. 49p.

CASTRO, L. S.; MIRANDA, M. H.; LIMA, J. E. Indicadores sociais de desenvolvimento e a produção de soja: uma análise multivariada nos 150 maiores municípios produtores brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v.11, n.1, p.69-87, 2015.

CATTELAN, A.J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **EDP Sciences**, 2018.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v.45, n.8, p.1387-1393, 2015.

CHAWLA, S.; BOWEN, C. R.; SLAMINKO, T. L.; HOBBS, H. A.; HARTMAN, G. L. A public program to evaluate commercial soybean cultivars for pathogen and pest resistance. **The American Phytopathological Society**, v.97, n.5, p.568-578, 2013.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020**. v.7, n.12, p.1-33, 2020.

COSTA, R. S.; SILVA, J. S.; FONTELES, A. K. F.; SILVA, A. K. F.; MESQUITA, R. O. Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.14, p.1-14, 2020.

DIAS, K. D. G. **Hidrolisado de peixe e *Bradyrhizobium japonicum* no tratamento de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill)**. Monografia graduação em agronomia Centro Universitário São Lucas de Ji-Paraná, 2019. 29p.

DU, Y.; ZHAO, Q. CHEN, L.; YAO, X.; ZHANG, W. ZHANG, B.; XIE, F. Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. **Journal Elsevier**, v.146, p.1-12, 2020.

EILERT, J. B.; POLETINE, J. P.; BRONDANI, S. T.; BARELLI, M. A. A.; SILVA, V. P. Melhoramento e seleção de feijoeiro comum por meio de modelos mistos para resistência/tolerância à seca. **Journal of Agronomic Sciences**, v.9, n.especial, p.246-268, 2020.

FAQUIN, V.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E. **Cultivo de plantas em ambiente controlado: solução nutritiva, hidroponia e em vasos com solo**. Lavras: UFLA, 2008. 177p.

FENG, Z.; DING, C.; LI, W.; WANG, D.; CUI, D. Applications of metabolomics in the research of soybean plant under abiotic stress. **Food Chemistry**, v.310, p.1-9, 2020.

FERRÃO, R. G.; MOREIRA, S. O.; FERRÃO, M. A. G.; RIVA, E. M.; ARANTES, L. O.; COSTA, A. F. S.; CARVALHO, P. L. P. T.; GALVÊAS, P. A. O. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incapem em Revista**, v.7, n.4, p.51-71, 2016.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. **Revista Nativa**, v.3, n.1, p.67-77, 2015.

FIGLIORINI, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v.58, n.3, p.342-349, 2011.

FIGLIORINI, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.11, p.1432-1439, 2013.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v.70, n.3, p.16-18, 2018.

GOBBI, R. C.; CASIMIRO, E. L. N. Efeitos de níveis de desfolha em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v.12, n.3, p.249-258, 2019

GOMES, J. M.; RODRIGUES, F. A.; PAGLIARINI, R. F.; NAKAYAMA, T. J.; REIS, R. R.; FARIAS, J. R. B.; HARMON, F. G.; MOLINARI, H. B. C.; MOLINARI, M. D. C.; NEPOMUCENO, A. Transcriptome-Wide Identification of Reference Genes for Expression Analysis of Soybean Responses to Drought Stress along the Day. **Journal PLOS ONE**, v.10, n.5, p1-16, 2015.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.10, n.3, p.305-315, 2016.

GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Livro Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**, v.1, 2012. 282p.

HOPKINS, W. G.; HÜNER, P. A. N. **Plant physiology**, v.4, p.26-33 e 230, 2009.

JACINTO JÚNIOR, S. G.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B.; SILVA, B. N.; SOUSA, G. G.; OLIVEIRA, L. L. B.; MESQUITA, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.3, p.413-422, 2019.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.11, n.1, p.100 – 105, 2009.

JHA, P. K.; KUMARB, S. N.; INESA, A. V. M. Responses of soybean to water stress and supplemental irrigation in upper Indo-Gangetic plain: Field experiment and modeling approach. **Journal Elsevier**, v.219, p.76-86, 2018.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, v.67, n.1, p.43-49, 2008.

KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. *Revista Ceres*, v.60, n.5, p.690-698, 2013.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Classificação e aptidão agrícola dos solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a fruticultura. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p.20. (**Documentos, 53**).

LIU, F.; JENSEN, C. R.; ANDERSEN, M. N. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. **Journal Elsevier**, v.86, p.1-13, 2004.

LIU, Z.; LI, Y.; MA, L.; WEL, H.; ZHANG, J.; HE, X.; TIAN, C. Coordinated regulation of arbuscular mycorrhizal fungi and soybean MAPK pathway genes improved mycorrhizal soybean drought tolerance. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.28, n.4, p.408-419, 2015.

MACHADO JÚNIOR, C. S. **Déficit hídrico em tipos de crescimento da soja**. Dissertação mestrado em fitotecnia Universidade Federal de Uberlândia, 2015. 57p.

MARIANNO, F. H. F. **Desempenho produtivo da soja submetida a aplicação de fitorreguladores na fase reprodutiva e a dois regimes hídricos no enchimento de grãos**. Dissertação Mestrado em Produção Vegetal, 2016.

MILMAN, V. M. **Desempenho da cultura da soja (*Glycine max*) em resposta a diferentes densidades de sementeira e geometrias espaciais**. Dissertação mestrado em Engenharia Agrônômica. Universidade do Porto, 2020. 50p.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v.3, n.especial, p.114-129, 2014.

MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A.; LIMA, T. V. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. Sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p.345-354, 2016.

PEREIRA, A. A.; MORALES, A. M. A. P.; BORÉM, A.; LOUREIRO, M. E. Expressão de genes da subfamília HD-Zip I em soja submetida à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.8, p.884-889, 2011.

PINCELLI, R.P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas.** 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. 78p.

RAHBARIAN, R.; KHAVARI-NEJAD, R.; GANJEALI, A.; BAGHERI, A.; NAJAFI, F. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. **Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica**, v.53, n.1, p.47-56, 2011.

RODRIGUES, J. D.; SILVA, C. R. C.; PEREIRA, R. F.; RAMOS, J. P. C.; MELO FILHO, P. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; SANTOS, R. C. Characterization of water-stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3763-3770, 2016.

SANTOS, M. K. S. **Avaliação da qualidade de sementes de soja produzidas no oeste baiano: empresa ciaseeds.** Monografia graduação em agronomia Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019. 60p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. **Tecnologias de produção e usos da soja**, p.1-5, 2009.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v.10, n.4, p.317-325, 2017.

SILVA, D. F.; ALCÂNTARA, C. R. Déficit hídrico na região Nordeste: variabilidade espaço-temporal. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v.8, n.1, p.45-51, 2009.

SILVA, F. C. S. **Influência do tamanho de sementes e de características agronômicas em descritores adicionais de soja.** Dissertação mestrado Universidade Federal de Viçosa, 2013. 57p.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. de. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.946-952, 2015.

SILVA, J.S. Estresse hídrico em variedades tradicionais de feijão-caupi: estratégias fisiológicas e bioquímicas para tolerância ao déficit hídrico. **Publicação Universidade Federal do Ceará Biblioteca Universitária**, 2019. 61p.

SINGH, H. P; BATISH, R. D.; KOHLI, R. K.; ARORA, K. Arsenic-induced root growth inhibition in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb .) is due to oxidative stress resulting from enhanced lipid peroxidation. **Plant Growth Regulation**, v.53, p.65–73, 2007.

SOUSA, S. J. C.; MATIAS, S. S. R.; MORAIS, D. B.; COSTA JUNIOR, E. S.; NASCIMENTO, A. H.; SOARES, G. B. S. Clorofila A e B, Clorofila total e sua relação com área foliar total em mudas de Caju. **Anais... XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, 2015. 4p.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola ambiental**, v.17, n.12, 2013.

STEIN, O.; GRANOT, D. An Overview of sucrose synthases in plants. **Frontiers in Plant Science**, v.10, n.95, p.1-14, 2019.

SUN, M.; GOGGI, S. A. ; MATSON, K. ; PALMER, R. G.; MOORE, K.; CIANZIO, S. R. Thin Plate Spline Regression Model Used at Early Stages of Soybean Breeding to Control Field Spatial Variation. **Journal of Crop Improvement**, v.29, n.3, p.333-352, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6 ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 858 p.

TAVARES, L. C.; RUFINO, C. A.; TUNES, L. M.; BARROS, A. C. S. A. Rendimento e qualidade de sementes de soja de alto e baixo vigor submetidas ao déficit hídrico. **Revista de ciência e tecnologia de América**, v.38, n.1, p.73-80, 2013.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v.35, n.1, p.1-9, 2019.

VIÇOSI, K. A.; FERREIRA, A. A. S.; OLIVEIRA, L. A. B.; RODRIGUES, F. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.4, p.36-42, 2017.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, v.29, n.2, p.543-552, 2013.

WU, F.; GENG, Y.; ZHANG, Y.; JI, C.; CHEN, Y.; SUN, L.; XIE, W.; ALI, T.; FUJITA, T. Assessing sustainability of soybean supply in China: Evidence from provincial production and trade data. **Journal of Cleaner Production**, v.244, p.1-14, 2020.

YOKOYAMA, A. H.; RIBEIRO, R. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, p.953-962, 2018.

YU, X.; JAMES, A. T.; YANG, A.; JONES, A.; MENDOZA-PORRAS, O.; BÉTRIX, C. A.; MA, H.; COLGRAVE, M.L. A copartive proteomic study of drought-tolerant and drought-sensitive soybean seedlings under drought stress. **Crop and Pasture Science**, v.67, n.5, p.528-540, 2016.

ZHOU, J.; YUNGBLUTH, D.; VONG, C. N.; SCABOO, A.; ZHOU, J. Estimation of the Maturity Date of Soybean Breeding Lines Using UAV-Based Multispectral Imagery. **Remote Sens**, v.11, n.18, p.2075, 2019.