

Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada

Phytochemical efficiency, photoassimilate partition and production of cotton under salt stress and nitrogen fertilization

Geovani S. de Lima^{1,*}, Adaan S. Dias², Lauriane A. dos A. Soares¹, Hans R. Gheyi³, Reginaldo G. Nobre¹ e André Alisson R. da Silva²

¹Programa de Pós-Graduação em Horticultura Trpocal, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil. CEP: 58840-000

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil. CEP: 58429-140

³Núcleo de Engenharia de Água e solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Cruz das Almas, BA, Brasil. CEP:44380-000.

(*E-mail: geovanisoareslima@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/RCA18123>

Recebido/received: 2018.04.23

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.09.07

Aceite/accepted: 2018.09.11

RESUMO

Propôs-se, no presente trabalho, avaliar a eficiência fotoquímica, a partição de fotoassimilados e a produção do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) em função do estresse salino e adubação nitrogenada, em estudo conduzido durante 130 dias, em lisímetros de drenagem, utilizando-se um Neossolo Regolítico Eutrófico, textura franco-arenosa. Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 5 x 5, com três repetições, sendo cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (5,1; 6,1; 7,1; 8,1 e 9,1 dS m⁻¹) e cinco doses de nitrogênio –DN (65; 100; 135; 170; 205 mg de N kg⁻¹ de solo). O estresse salino promoveu diminuição na eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro cv. BRS Rubi, sendo a massa total de capulhos a variável mais prejudicada. A tolerância do algodoeiro ao estresse salino esteve associada à maior suculência foliar. O estresse salino ocasionou danos na eficiência quântica do fotossistema II. Doses de N estimadas em 178 e 140 mg kg⁻¹, respectivamente, proporcionaram incremento na fluorescência variável e eficiência quântica do fotossistema II do algodoeiro. Não houve interação significativa entre os níveis salinos da água e as doses de nitrogênio para nenhuma das variáveis avaliadas.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L., BRS Rubi, águas salinas, nitrogênio

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the photochemical efficiency, photoassimilate partition and cotton production (*Gossypium hirsutum* L.) as a function of saline stress and nitrogen fertilization, in a study conducted during 130 days in drainage lysimeters using an Eutrophic Regolithic Neosol of sandy-loam texture. A randomized complete block design was used in a 5 x 5 factorial arrangement, with three replications, with five levels of electrical conductivity of the irrigation water -ECw (5.1, 6.1, 7.1, 8.1 and 9.1 dS m⁻¹) and five doses of nitrogen-DN (65; 100; 135; 170; 205 mg N kg⁻¹ of soil). Saline stress promoted a decrease in photochemical efficiency, partition of photoassimilates and production of cotton cv. BRS Rubi, with the total mass of bolls being the most impaired variable. Cotton tolerance to saline stress was associated with greater leaf succulence. Saline stress caused damage to the quantum efficiency of photosystem II. N doses estimated at 178 and 140 mg kg⁻¹, respectively, provided an increase in the variable fluorescence and quantum efficiency of the photosystem II of the cotton plant. There was no significant interaction between saline water levels and nitrogen doses for any of the evaluated variables.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L., BRS Rubi, salt water, nitrogen.

INTRODUÇÃO

A salinidade da água e/ou do solo é considerada um dos estresses abióticos que mais limita o crescimento e a produtividade das culturas em todo mundo (Freire *et al.*, 2011), sobretudo em áreas como o semiárido do nordeste brasileiro, por razões climáticas (desbalanço entre a precipitação e evaporação), proporcionando perdas socioeconômicas, acentuando o desemprego, a concentração de renda e o empobrecimento de um contingente significativo da população (Alves *et al.*, 2011).

As altas concentrações de sais são consideradas um fator estressante para as culturas, em razão de reduzir o potencial osmótico da solução do solo, restringindo a disponibilidade de água e/ou pela acumulação excessiva de íons nos tecidos vegetais, podendo ocasionar toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos (Neves *et al.*, 2009). Contudo, os efeitos do estresse salino sobre as plantas dependem da espécie, cultivar, tipos de sais, duração do estresse, manejo de irrigação, condições edafoclimáticas e adubação (Munns & Tester, 2008).

A irrigação com águas de elevados níveis salinos podem induzir modificações na composição e função do aparato fotossintético das plantas e no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos, que provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência, além do rendimento quântico potencial, especialmente do fotossistema II (Silva *et al.*, 2011), que é um indicador da eficiência no uso da radiação fotoquímica e, conseqüentemente, na assimilação de carbono pelas plantas (Tester & Bacic, 2005). Assim, a determinação da fluorescência da clorofila pode ser utilizada para avaliar a integridade do aparato fotossintético das plantas.

Um dos mecanismos que pode minimizar os efeitos deletérios ocasionados pela irrigação com águas de níveis elevados de sais é o manejo da adubação, especialmente com nitrogênio (Lima *et al.*, 2014), tendo em vista que este macronutriente é constituinte de diversos compostos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, responsáveis por elevar a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade, além de ser necessário

para a manutenção da capacidade fotossintética, devido à sua importância na síntese de proteínas e ativação enzimática (Taiz & Zeiger, 2013; Oliveira *et al.*, 2014).

Dentre as culturas de importância para o semiárido do Nordeste brasileiro, destaca-se o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), devido ao seu grande potencial econômico e social e a multiplicidade de produtos que dele se originam, sendo um dos materiais naturais mais usados na indústria têxtil, em forma de fio compacto ou de tecidos. Além da utilização em forma de torta ou na produção de óleo comestível de alto valor agregado, funcionando como suplemento protéico na alimentação animal e humana (Alves *et al.*, 2008).

Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos das doses de nitrogênio como forma de amenizar o estresse salino na eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro colorido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em lisímetros de drenagem sob condições de ambiente protegido (casa-de-vegetação), entre março e julho de 2016 (correspondendo 130 dias de cultivo), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (CTRN/UFCCG), localizada no município de Campina Grande, Paraíba, situado pelas coordenadas geográficas locais 7°15'18" Latitude S, 35°52'28" de Longitude W e altitude média de 550 m.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 x 5, com três repetições, sendo os tratamentos obtidos da combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (5,1; 6,1; 7,1; 8,1 e 9,1 dS m⁻¹) e cinco doses de nitrogênio – DN (65; 100; 135; 170; 205 mg N kg⁻¹ de solo). Vale salientar que Novais *et al.* (1991) recomendam 100 mg N kg⁻¹ de solo para ensaios em vasos). O menor nível salino utilizado nesta pesquisa refere-se à salinidade limiar da água para a cultura do algodoeiro (Ayers & Westcot, 1999).

As plantas foram irrigadas com águas preparadas com os sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, nas proporções equivalentes de 7:2:1, dissolvidos em água de abastecimento disponível no município de Campina Grande (CEa=1,86 dS m⁻¹ e RAS=7,8 mmol L⁻¹)^{0,5}) Paraíba, considerando a relação entre CEa e a concentração de sais (10*mmol_c L⁻¹=CEa dS m⁻¹), extraída de Richards (1954).

Utilizaram-se, no experimento, lisímetros de drenagem de 20 L de capacidade, com dreno de 4 mm na base inferior para permitir a drenagem do lixiviado. A extremidade do dreno no interior do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução pelo material de solo e outra foi colocada numa garrafa plástica para a coleta de água drenada visando estimativa do consumo de água pela planta. Na base dos lisímetros foi colocada uma camada de 0,5 kg de brita seguido de 26 kg de um Neossolo Regolítico Eutrófico de textura franco-arenosa, proveniente do município de Esperança, Paraíba, coletado na profundidade de 0-30 cm (horizonte A), cujas características químicas e físicas (Quadro 1) foram obtidas conforme as metodologias descritas por Claessen (1997).

Nesta pesquisa, avaliaram-se a cultivar de algodoeiro BRS Rubi, por ser um material genético indicado para o cultivo em região semiárida do nordeste do Brasil. Trata-se de uma cultivar de fibra marrom-escuro ou marrom-avermelhado; a planta possui altura média de 1,10 m e o ciclo de cultivo de 120 a 140 dias (EMBRAPA, 2011).

Antes da semeadura, o teor de umidade do solo foi elevado até a capacidade de campo, utilizando-se respectiva água salina, conforme os tratamentos. Após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente, aplicando-se em cada lisímetro um volume de água de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, sendo o volume aplicado determinada de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água: volume de água aplicado menos o volume drenado na irrigação anterior.

Em cada lisímetro, foram semeadas oito sementes do algodoeiro cv. BRS Rubi, a 3,0 cm de profundidade, sendo distribuídas de forma equidistante. Decorridos 15 e 25 dias após a semeadura (DAS) procedeu-se os desbastes de plantas. Após os desbastes, a unidade experimental foi composta de uma planta por lisímetro.

Realizou-se a adubação com fósforo e potássio, baseando-se em recomendação de Novais *et al.* (1991) e levando-se em consideração os teores apresentados na análise de solo, sendo aplicado o equivalente a 300 mg P₂O₅ e 150 mg K₂O kg⁻¹ de solo, utilizando o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Utilizou-se como fonte de nitrogênio, a ureia. O fósforo foi aplicado todo em fundação. As adubações com potássio e as doses de N foram parceladas equitativamente, sendo as doses de K⁺ aplicadas aos 12, 28 e 42 DAS e as de N foram fornecidas aos 15, 30, 45 e 60 DAS.

Quadro 1 - Características químicas e físicas do Neossolo Regolítico Eutrófico utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas									
pH (H ₂ O) (1:2, 5)	M.O. dag kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ + H ⁺	PST (%)	CEes (dS m ⁻¹)
5,63	1,83	18,2	0,21	0,17	3,49	2,99	5,81	1,34	0,61
Características físicas									
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe textural	Umidade (kPa)*		AD	Porosidade total m ³ m ⁻³	DA	DP
Areia	Silte	Argila		33,42	1519,5				
572,3	100,8	326,9	FA	12,68	4,98	7,70	0,57	1,13	2,65

pH_{ps} - pH da pasta de saturação; M.O - Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7, Al³⁺ e H⁺ extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; PST - Percentagem de sódio trocável; CEes - Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA - Franco Argiloso; AD - Água disponível; DA - Densidade aparente; DP - Densidade de partículas; 33,42 kPa - Capacidade de campo, 1519,5 kPa - Ponto de murchamento

Os micronutrientes foram aplicados via foliar, aos 25, 40 e 55 DAS, utilizando-se 3L de solução contendo 2,5 g L⁻¹ de ubyfol [(N (15%); P₂O₅(15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)]. O controle fitossanitário foi realizado de forma preventiva sendo aplicados inseticidas do grupo químico neonicotinoide, fungicida do grupo químico triazol e acaricida pertencente ao grupo químico abamectina (Lima *et al.*, 2016).

Determinaram-se os efeitos dos diferentes níveis de CEa e das doses de nitrogênio sobre o algodoeiro cv. BRS Rubi através da fluorescência inicial (Fo), máxima (Fm), variável (Fv), eficiência quântica do FSII (Fv/Fm), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), suculência foliar (SUC), massa total de cápsulas (MTC) e de cem sementes (MCS). Aos 83 DAS, foi mensurada a fluorescência da clorofila *a* (Fo, Fm, Fv, Fv/Fm), em folhas pré-adaptadas ao escuro mediante uso de pinças foliares durante 30 minutos, entre as 7:00 e 8:00 horas da manhã, na folha mediana do ramo produtivo intermediário da planta, utilizando-se fluorômetro modulado modelo OS5p da Opti Science. A TAL (g m⁻² dia⁻¹) foi determinada nos períodos compreendidos entre duas avaliações (83 e 130 DAS) a tr a v é s da equação: $TAL = ((P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)) * (\log AF_2 - \log AF_1) / (AF_2 - AF_1)$ em que: P₂ - P₁ é a diferença de matéria seca (g) entre duas avaliações e t₂ - t₁ é o intervalo de tempo entre os dois períodos avaliados. Já a AFE (cm² g⁻¹) e a RAF (cm² g⁻¹), foram mensuradas aos 130 DAS, segundo metodologia proposta por Benincasa (2003). A suculência foliar - SUC (g cm⁻²) foi determinada, conforme relação proposta por Mantovani (1999), obtida através: [(Fitomassa fresca - fitomassa seca)/área foliar].

A colheita dos capulhos foi realizada manualmente quando 90% das cápsulas estavam abertas. A MTC foi obtida a partir do somatório do peso da pluma, brácteas e receptáculo; após o deslindamento manual (Separação da semente da pluma), determinou-se a MCS (g), utilizando-se balança com precisão de 0,01g.

Após a verificação da homogeneidade das variâncias, os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade e nos casos de significância,

realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática, utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (Ferreira, 2011). Não foi necessário realizar transformação de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo resumo do teste F (Quadro 2), verifica-se que os níveis salinos da água de irrigação influenciaram de forma significativa a fluorescência inicial (Fo), variável (Fv), eficiência quântica do FSII (Fv/Fm), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), suculência foliar (SUC) (p<0,05), massa total de cápsulas (MTC) e de cem sementes (MCS) (p<0,01). As doses de nitrogênio afetaram significativamente apenas as variáveis Fv e Fv/Fm (p<0,05). Todavia, não houve efeito significativo da interação entre os fatores (NS x DN) para nenhuma das variáveis analisadas (p>0,05).

A irrigação com águas salinas ocasionou decréscimo linear (p<0,05) na fluorescência inicial do algodoeiro cv. BRS Rubi, observando-se a partir da equação de regressão (Figura 1A), diminuição de 3,47% por incremento unitário da CEa, ou seja, as plantas irrigadas com CEa de 9,1 dS m⁻¹ tiveram uma redução na Fo de 31,28 elétrons quantum⁻¹ em comparação com as que foram submetidas ao nível de salinidade limiar da cultura (5,1 dS m⁻¹). Desta forma, o menor valor alcançado na Fo das plantas submetidas aos maiores níveis salinos (Figura 1A) indica que pode ter ocorrido danos no centro de reação do fotossistema II ou redução da capacidade de transferência da energia da excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação, decorrente possivelmente da diminuição do potencial hídrico foliar (Azevedo Neto *et al.*, 2011), provocado pelas altas concentrações de sais da água de irrigação.

Os níveis crescentes de salinidade da água também reduziram linearmente (p<0,01) a fluorescência máxima das plantas de algodoeiro cv. BRS Rubi e de acordo com a equação de regressão (Figura 1B), nota-se redução de 5,95% por incremento unitário da CEa, correspondente a uma diminuição na Fm de 23,76% das plantas sob o maior nível salino (9,1 dS m⁻¹) em comparação com as irrigadas com água de menor condutividade elétrica (5,1 dS m⁻¹). A diminuição da fluorescência máxima possivelmente estar relacionada a deficiência de

Quadro 2 - Resumo do teste F, referente às fluorescências: inicial (Fo), máxima (Fm), variável (Fv), eficiência quântica do FSII (Fv/Fm), taxa de assimilação líquida (TAL), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), suculência foliar (SUC) massa total de capulhos (MTC) e de cem sementes (MCS) do algodoeiro cv. BRS Rubi, irrigado com água salinas e adubado com nitrogênio

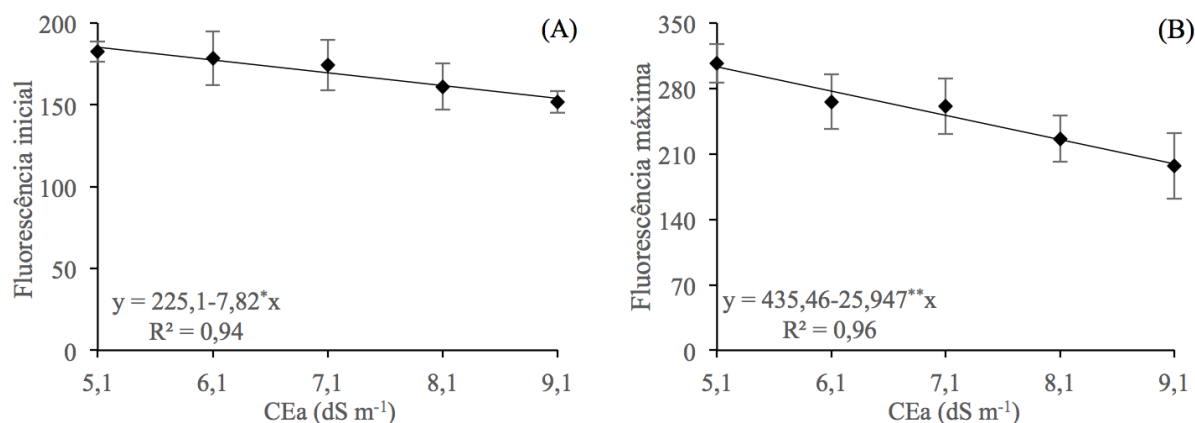
Fonte de Variação	Teste de F									
	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	TAL	AFE	RAF	SUC	MTC	MCS
Níveis salinos (NS)	*	**	*	*	**	*	*	*	**	**
Reg. Linear	*	**	*	*	**	*	**	*	**	**
Reg. Quadrática	ns	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	**	ns
Doses de N (DN)	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg. Linear	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg. Quadrática	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interação (NS x DN)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Blocos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	15,06	22,40	14,00	11,05	11,20	17,88	17,33	22,63	15,66	15,63

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

fotorredução da quinona A, situação que pode ter ocorrido devido a inativação do PSII nas membranas dos tilacóides; tal declínio afeta o fluxo de elétrons entre os fotossistemas, influenciando a atividade fotoquímica nas folhas, tendo em vista que maior fluorescência máxima reflete na capacidade da planta em transferir energia para a formação do redutor NADPH, ATP e ferredoxina reduzida e, conseqüentemente, promove maior capacidade de assimilação do CO_2 na fase bioquímica da fotossíntese (Baker, 2008).

Freire *et al.* (2014) avaliando à eficiência fotossintética de maracujazeiro amarelo irrigado com águas de baixa e alta salinidade (CEa: 0,5 e 4,5 dS m^{-1}) também verificaram que o estresse salino inibiu a atividade fotoquímica do fotossistema II, fato observado pela redução da fluorescência máxima.

Semelhante às tendências observadas para fluorescência inicial (Figura 1A), e fluorescência máxima (Figura 1B) a fluorescência variável do algodoeiro foi reduzida significativamente pelo



Barras na vertical representam o erro padrão da média (n=3).

Figura 1 - Fluorescência inicial (A) e máxima (B) do algodoeiro cv. BRS Rubi, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.

aumento da condutividade elétrica da água e conforme a equação de regressão (Figura 2A) verifica-se efeito linear decrescente ($p < 0,05$), com redução de 5,95% por incremento unitário dos níveis salinos. Ao analisar a equação de regressão referente à Fv (Figura 2A), observa-se que as plantas de algodoeiro submetidas à CEa de $9,1 \text{ dS m}^{-1}$ obtiveram um declínio de 23,81% ($34,93 \text{ elétrons quantum}^{-1}$) em relação ao menor nível salino da água, evidenciando que a fluorescência variável está intimamente relacionada à variação de Fo e Fm, provavelmente, devido a redução na disponibilidade hídrica devido ao estresse osmótico (Cruz *et al.*, 2009).

Com relação aos efeitos das doses de nitrogênio sobre a fluorescência variável (Figura 2B), verifica-se que os dados se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,05$), tendo obtido o valor máximo estimado de $111,26 \text{ elétrons quantum}^{-1}$ nas plantas adubadas com doses de N de 178 mg kg^{-1} de solo, ocorrendo depleção a partir daí, sendo encontrado o valor mínimo de $67,66 \text{ elétrons quantum}^{-1}$ nas plantas de algodoeiro que estavam sob adubação com 65 mg N kg^{-1} de solo. Ao confrontar a fluorescência variável das plantas submetidas às doses de N de 65 e 205 mg N kg^{-1} de solo, constata-se que houve um incremento de 35,29% ($46,2 \text{ elétrons quantum}^{-1}$). Tal resposta evidencia a importância do nitrogênio na nutrição das plantas

de algodoeiro, pois este elemento é utilizado na síntese de compostos orgânicos, como clorofila e na composição de várias biomoléculas e inúmeras enzimas (Wolff & Floss, 2008), essencial por elevar a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade, além de serem necessário para a manutenção da capacidade fotossintética (Taiz & Zeiger, 2013; Oliveira *et al.*, 2014).

A eficiência quântica do FSII do algodoeiro cv. BRS Rubi, avaliado pela razão Fv/Fm, refere-se a capacidade de transferência da energia de excitação e expressa a eficiência de captura desta energia pelos centros de reação abertos do PSII (Melo *et al.*, 2010). Assim, ao analisar a equação de regressão para eficiência quântica do FSII (Figura 3A) verifica-se que os dados se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,05$), sendo o valor máximo estimado ($0,357 \text{ elétrons quantum}^{-1}$) obtido quando se irrigaram com CEa de $7,0 \text{ dS m}^{-1}$, a partir deste nível salino, ocorreu diminuição na eficiência quântica do FSII, sendo alcançado o menor valor ($0,284 \text{ elétrons quantum}^{-1}$) nas plantas de algodoeiro irrigadas com o maior nível de CEa ($9,1 \text{ dS m}^{-1}$). Desse modo, fica evidente que ocorreu dano no FSII, pois, o valor máximo obtido para a razão Fv/Fm ficou muito abaixo do índice ($0,75 \text{ elétrons quantum}^{-1}$), considerado como limite para provocar dano no aparato fotossintético das plantas (Santos *et al.*, 2010), pois, conforme Reis & Campostrini (2011),

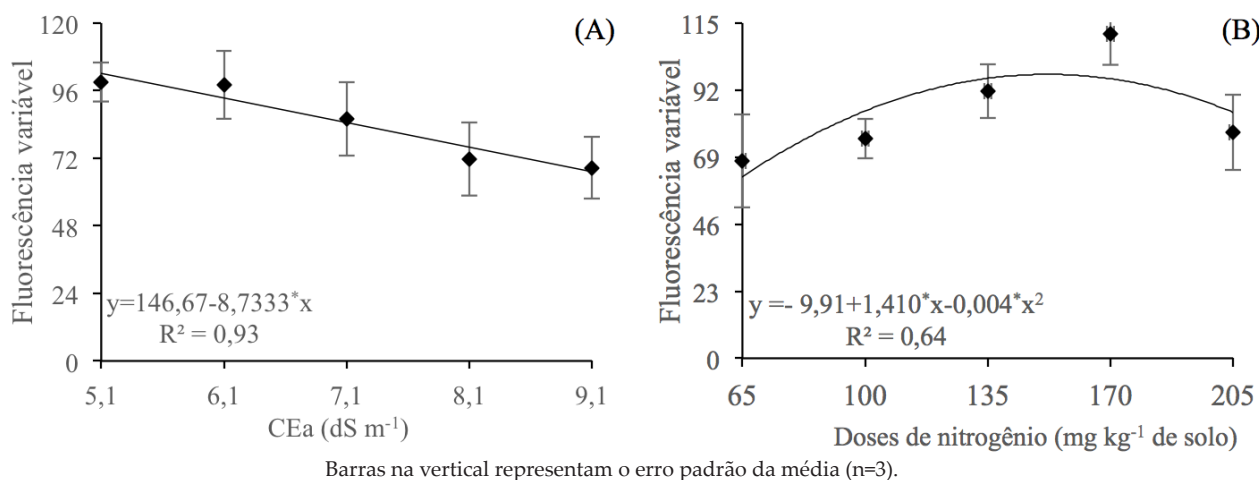


Figura 2 - Fluorescência variável do algodoeiro cv. BRS Rubi, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (A) e das doses de nitrogênio (B).

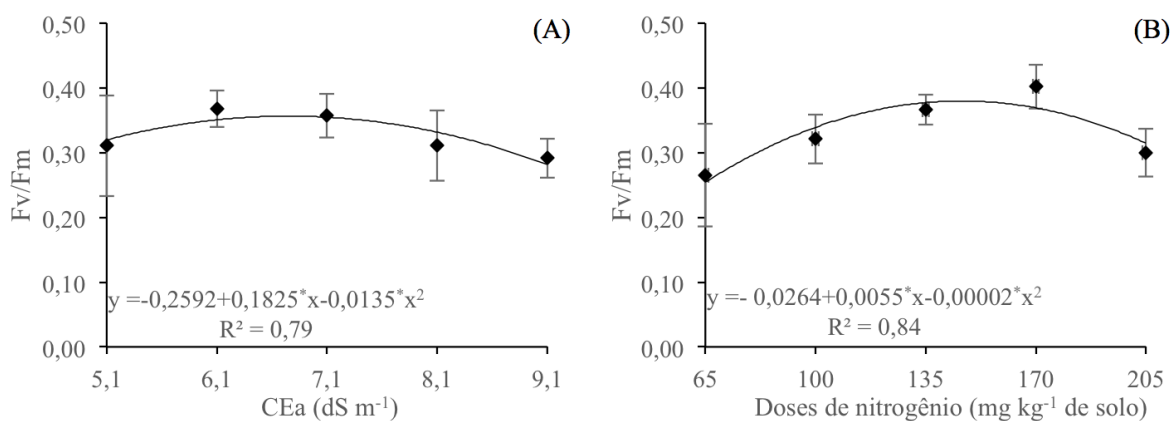
quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de F_v/F_m variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹. A inibição na eficiência quântica do FSII detectada nas plantas cultivadas com águas salinas indica a ocorrência de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII, fato que promove à formação de espécies reativas de oxigênio (Gonçalves *et al.*, 2010).

As doses de nitrogênio também influenciaram de forma significativa a eficiência quântica do FSII (P680). Pela equação de regressão (Figura 3B) constata-se comportamento quadrático ($p < 0,05$), tendo alcançado o valor máximo estimado (0,35 elétrons quantum⁻¹) na dose de 140 mg N kg⁻¹ de solo e o mínimo de 0,24 elétrons quantum⁻¹ quando se utilizaram 65 mg N kg⁻¹ de solo da dose recomendada. Assim, o declínio verificado na eficiência quântica do FSII (P680) está relacionado com a redução da concentração intercelular de CO₂, ao fechamento estomático e ao aumento na peroxidação lipídica em decorrência do desvio do fluxo de elétrons da assimilação de CO₂ para a redução de O₂ (Cruz *et al.*, 2009).

A taxa de assimilação líquida do algodoeiro cv. BRS Rubi apresentou decréscimo acentuado em função da irrigação com os níveis crescentes de CEa e conforme a equação de regressão ($p < 0,01$) (Figura 4A) nota-se que houve uma diminuição

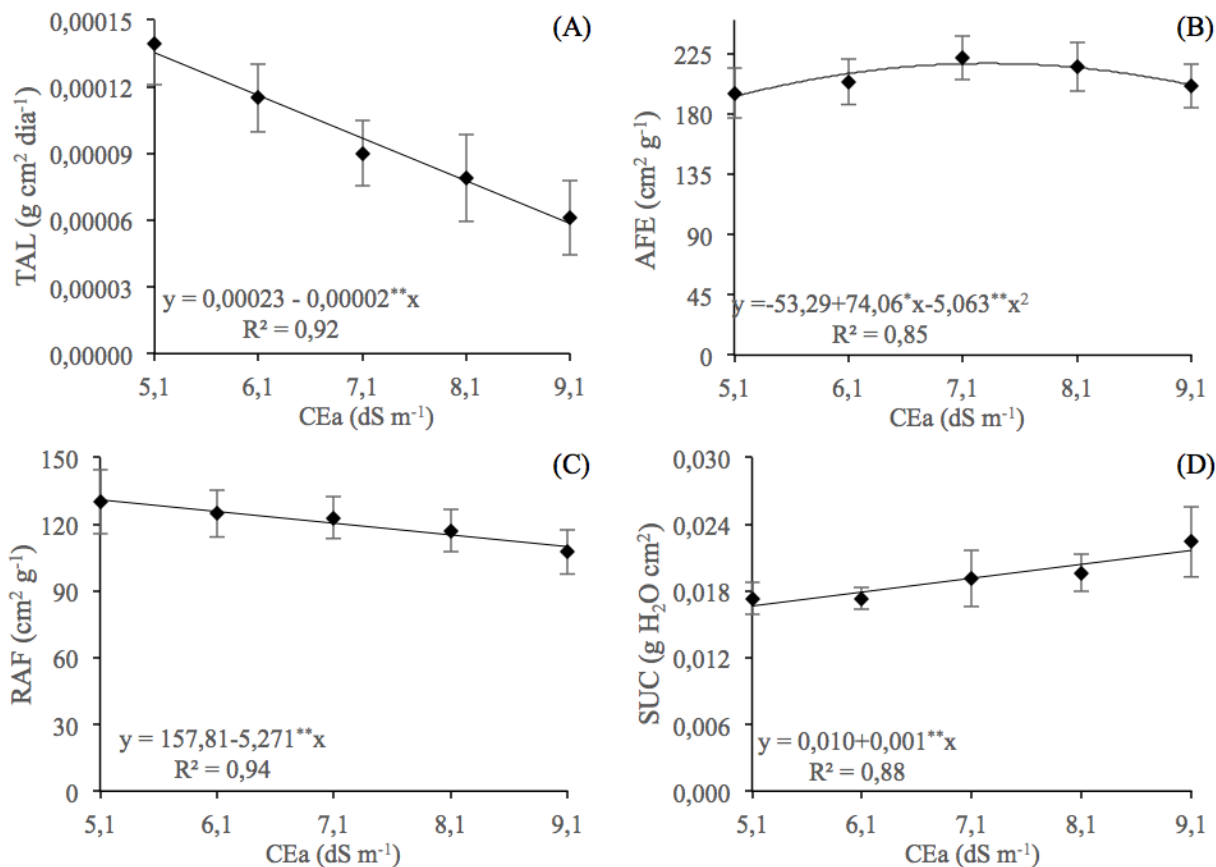
linear de 8,69% na TAL por incremento unitário da CEa, correspondente a um declínio de 34,78% nas plantas irrigadas com água de condutividade elétrica de 9,1 dS m⁻¹ quando se comparam com as que estavam sob o nível da cultura (5,1 dS m⁻¹). A menor taxa de assimilação líquida (Figura 4A) observada nas plantas cultivadas sob o maior nível salino (9,1 dS m⁻¹), pode estar relacionada com a redução do potencial osmótico e/ou acumulação excessiva de íons no protoplasma; nesse sentido, pode ter havido maior custo metabólico para osmorregulação, o qual pode ser conseguido por meio da acumulação e da compartimentação de solutos inorgânicos no vacúolo e solutos orgânicos no citoplasma (Garcia *et al.*, 2010), o que implica em diminuição na área foliar disponível para a interceptação de luz e, por conseguinte, promove redução na taxa fotossintética e alocação de fitomassa, influenciando na taxa de assimilação líquida.

Com relação à área foliar específica do algodoeiro cv. BRS Rubi verifica-se através dos estudos de regressão que os dados se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,01$) (Figura 4B), onde se percebe que houve crescimento na área foliar específica até a CEa de 7,4 dS m⁻¹, com valor máximo estimado de 221,89 cm² g⁻¹, a partir deste nível ocorreu redução, obtendo-se um valor médio de 200,49 cm² g⁻¹ nas plantas irrigadas com 9,1 dS m⁻¹. Denota-se a



Barras na vertical representam o erro padrão da média (n=3).

Figura 3 - Eficiência quântica do FSII (F_v/F_m) do algodoeiro cv. BRS Rubi, em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (A) e das doses de nitrogênio (B).



Barras na vertical representam o erro padrão da média (n=3).

Figura 4 - Taxa de assimilação líquida – TAL (A), área foliar específica – AFE (B), razão de área foliar – RAF (C) e suculência foliar – SUC (D) do algodoeiro cv. BRS Rubi, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.

partir dos dados de área foliar específica, que o efeito do estresse salino foi mais acentuado sobre a taxa de assimilação líquida do que na formação de fitomassa, inferindo à capacidade do vegetal em regular a transpiração em virtude de maior número de estratos celulares ou aumento dos espaços intercelulares (Taiz & Zeiger, 2013), representando assim, um mecanismo de aclimação da cultura ao estresse salino. Por outro lado, a redução na área foliar específica observada nos maiores níveis salinos (CEa superior a 7,4 dS m⁻¹), pode ter ocorrido devido ao acúmulo de sais no solo ao longo do ciclo de cultivo, o qual pode ter contribuído para a redução do potencial osmótico do solo, promovendo redução na absorção da água e de nutrientes pelas plantas (Sousa *et al.*, 2011).

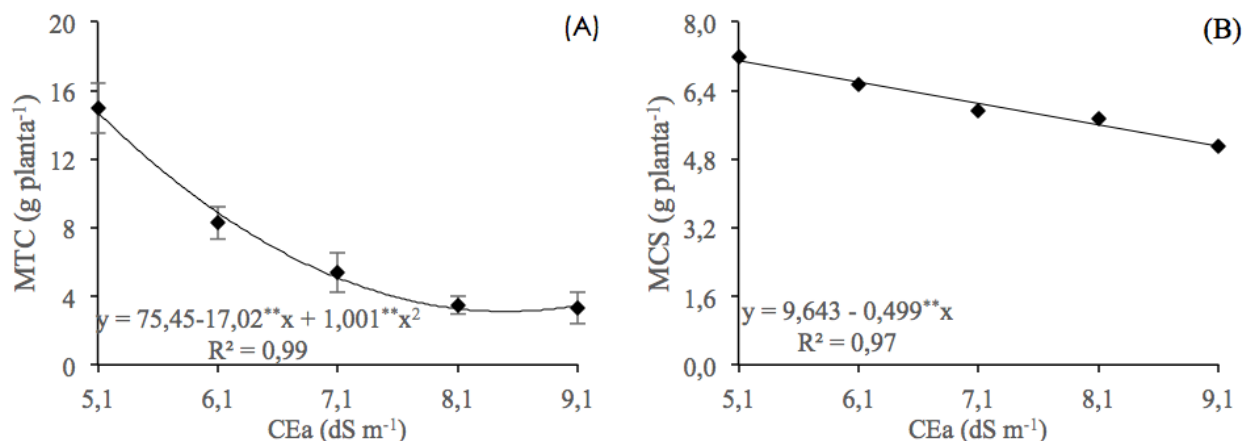
A razão de área foliar do algodoeiro foi reduzida linearmente ($p < 0,01$) em função do incremento nos níveis salinos da água e mediante análise de regressão (Figura 4C), constata-se redução de 3,34% por aumento unitário da condutividade elétrica da água, ou seja, as plantas de algodoeiro irrigadas com CEa de 9,1 dS m⁻¹ tiveram a razão de área foliar reduzida em 13,36% (21,08 cm² g⁻¹) em relação ao nível de salinidade limiar (5,1 dS m⁻¹). A redução da razão de área foliar é o reflexo do custo metabólico para acumulação de açúcares, ácidos orgânicos e íons no vacúolo, associado à adaptação a salinidade e a redução no ganho de carbono que poderia ser utilizada no crescimento da planta (Santos *et al.*, 2012). Oliveira *et al.* (2012) avaliando os efeitos da salinidade da água de irrigação (CEa: 0,5 a 6,5 dS m⁻¹) na cultura do

algodoeiro colorido cv. Nuopal, em ambiente protegido, também constataram, diminuição na razão de área foliar em função do aumento nos níveis salinos, sendo o declínio de 85,7 cm² g⁻¹ entre o menor e o maior nível salino.

A suculência foliar do algodoeiro cv. BRS Rubi aumentou linearmente em resposta ao incremento da salinidade da água de irrigação. De acordo com a equação de regressão ($p < 0,01$) (Figura 4D) vê-se aumento de 10% na suculência foliar por incremento unitário da CEa, equivalente a um aumento de 26,49% (0,0040 g H₂O cm⁻²), nas plantas irrigadas com CEa de 9,1 dS m⁻¹, em relação as que estavam sob salinidade da água de 5,1 dS m⁻¹. Desse modo, o incremento na suculência foliar ocasionado pelo estresse salino pode ser considerado indicativo de um efetivo ajustamento osmótico nas plantas (Martínez *et al.*, 2004), permitindo a regulação da concentração de sais nos tecidos foliares e dependendo, diretamente, da absorção, transporte e acúmulo de íons nos tecidos foliares (Trindade *et al.*, 2006). Silva *et al.* (2009) também constataram que houve acréscimos na suculência foliar das plantas de pinhão-mansão cultivadas sob estresse salino (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl); os referidos autores mencionam ainda que tal aumento na SUC determinou um papel efetivo para o ajustamento osmótico das plantas.

Com relação à massa total de cápsulas do algodoeiro, nota-se conforme equação de regressão (Figura 5A) que os dados obtiveram o melhor ajuste com o modelo quadrático ($p < 0,01$), sendo a maior produção de cápsulas (14,7 g planta⁻¹) obtida quando as plantas foram irrigadas com água de 5,1 dS m⁻¹ decrescendo a partir deste nível de CEa, alcançado o menor valor de 3,5 g planta⁻¹ no maior nível de salinidade da água. Ao comparar a MTC das plantas irrigadas com o maior nível salino (9,1 dS m⁻¹) em relação a menor CEa (5,1 dS m⁻¹), verifica-se redução de 76,19% (11,2 g planta⁻¹). A diminuição na produção do algodoeiro, avaliada através da massa total de cápsulas (Figura 5A) pode ser atribuída ao aumento da pressão osmótica do meio e ao desvio de energia para acumulação de solutos compatíveis e à consequente redução do potencial osmótico da solução do solo, situação que promoveu alteração na absorção de água e de nutrientes, inibindo a divisão e o alongamento das células e, por conseguinte, proporcionando redução no crescimento e na produção das culturas (Graciano *et al.*, 2011).

A massa de cem sementes do algodoeiro cv. BRS Rubi diminuiu linearmente ($p < 0,01$) em função do aumento nos níveis de condutividade elétrica da água e através da equação de regressão (Figura 5B), verifica-se declínio de 5,17% por incremento



Barras na vertical representam o erro padrão da média (n=3).

Figura 5 - Massa total de cápsulas – MTC (A) e de cem sementes- MCS (B) do algodoeiro cv. BRS Rubi, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.

unitário da CEa, ou seja, as plantas de algodoeiro cultivadas com água de 9,1 dS m⁻¹ tiveram uma diminuição na massa de cem sementes de 28,12% (1,99 g planta⁻¹), quando se comparam as com as submetidas a CEa de 5,1 dS m⁻¹. A redução na massa de cem sementes (Figura 5B) acompanhou a mesma tendência observada para MTC (Figura 5A), fato que deve estar relacionado com a explicação apresentada anteriormente por Graciano *et al.* (2011). Oliveira *et al.* (2012) também observaram redução linear na MCS do algodoeiro cv. Nuopal cultivado com águas salinas (CEa: 0,5 a 6,5 dS m⁻¹), com decréscimos de 4,61% por incremento unitário da CEa.

CONCLUSÕES

Com o aumento do estresse salino, ocorre diminuição na eficiência fotoquímica, partição

de fotoassimilados e produção do algodoeiro cv. BRS Rubi, sendo a massa total de capulhos a variável mais prejudicada.

A tolerância do algodoeiro ao estresse salino pode estar associada à maior suculência foliar.

Níveis de salinidade da água de irrigação a partir de 6,1 dS m⁻¹ promovem redução na eficiência quântica do fotossistema II do algodoeiro.

Doses de N estimadas em 178 e 140 mg kg⁻¹, respectivamente, proporcionam incremento na fluorescência variável e eficiência quântica do fotossistema II do algodoeiro.

A interação entre os níveis salinos da água e as doses de nitrogênio não é significativa para nenhuma das variáveis do algodoeiro avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, L.R.A.; Barros, G.S.C. & Bacchi, M.R.P. (2008) - Produção e exportação de algodão: Efeitos de choques de oferta e de demanda. *Revista Brasileira de Economia*, vol. 62, n. 4, p. 381-405. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-71402008000400002>
- Alves, M.S.; Soares, T.M.; Silva, L.T.; Fernandes, J.P.; Oliveira, M. L. A. & Paz, V.P.S. (2011) - Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 5, p. 491-498. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000500009>
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. (trad.) (1999) - *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 218p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado1).
- Azevedo Neto, A.D.; Pereira, P.P.A.; Costa, D.P. & Santos, A.C.C. (2011) -Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 4, p. 893-897. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400010>
- Baker, B. (2008) - Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, p. 89-113. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
- Benincasa, M.M.P. (2003) - *Análise de crescimento de plantas, noções básicas*. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP. 41 p.
- Claessen, M.E.C. (org.). (1997) - *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 212 p. Documentos, 1.
- Cruz, M. do C.M.; Siqueira, D.L.; Salomão, L.C.C. & Cecon, P.R. (2009) - Fluorescência da clorofila a em folhas de tangerineira 'Ponkan' e limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 31, n. 3, p. 896-901. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452009000300037>
- EMBRAPA (2011) - *Algodão Colorido: Tecnologia Embrapa para a geração de emprego e renda na agricultura familiar do Brasil*. Campina Grande, PB: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2p. Circular Técnico, 17.

- Ferreira, D.F. (2011) - Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 35, n. 6, p. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Freire, J.L. de O.; Dias, T.J.; Cavalcante, L.F.; Fernandes, P.D. & Lima Neto, A.J. de (2014) - Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 45, n. 1, p. 82-91. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000100011>
- Freire, J.L.O.; Cavalcante, L.F.; Rebequi, A.M.; Dias, T.J.; Souto & A.G. de L. (2011) - Necessidade hídrica do maracujazeiro amarelo cultivado sob estresse salino, biofertilização e cobertura do solo. *Revista Caatinga*, vol. 24, n. 1, p. 82-91.
- Garcia, G. de O.; Nazário, A.A.; Moraes, W.B.; Gonçalves, I.Z. & Madalão, J.C. (2010) - Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. *Engenharia na Agricultura*, vol. 18, n. 4, p. 330-338.
- Gonçalves, E.R.; Ferreira, V.M.; Silva, J.V.; Endres, L.; Barbosa, T.P. & Duarte, W. de G. (2010) - Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n. 4, p. 378-386. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>
- Graciano, E.S.A.; Nogueira, R.J.M.C.; Lima, D.R.M.; Pacheco, C.M. & Santos, R.C. (2011) - Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 8, p. 794-800. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000800005>
- Lima, G.S. de; Nobre, R.G.; Gheyi, H.R.; Soares, L.A. dos A. & Silva, A.O. da (2014) - Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Engenharia Agrícola*, vol. 34, n. 5, p. 854-866. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000500005>
- Lima, G.S.; Oliveira, L.D.; Gheyi, H.R.; Soares, L.A.A.; Lacerda, C.F.; Santos, J.B. & Araujo, B.M. (2016) - Cultivation of colored cotton irrigated with saline water under potassium and nitrate/ammonium fertilization. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 11, n. 1, p. 32-39. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10540>
- Mantovani, A. (1999) - A method to improve leaf succulence quantification. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 42, n. 1, p. 9-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89131999000100002>
- Martínez, J.P.; Lutts, S.; Schanck, A.; Bajji, M. & Kinet, J.M. (2004) - Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. *Journal of Plant Physiology*, vol. 161, n. 9, p. 1041-1051. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2003.12.009>
- Melo, A.S. de; Suassuna, J.F.; Fernandes, P.D.; Brito, M.E.B.; Suassuna, A.F. & Aguiar Netto, A. de O. (2010) - Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 32, n. 1, p. 73-79. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.2136>
- Munns, R. & Tester, M. (2008) - Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, p. 651-681. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Neves, A.L.R.; Lacerda, C.F. de; Guimarães, F.V.A.; Gomes Filho, E. & Feitosa, D.R.C. (2009) - Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.13, suppl, p.873-881. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700009>
- Novais, R.F.; Neves, J.C.L. & Barros, N.F. (1991) - *Ensaio em ambiente controlado*. In: Oliveira, A.J. (Ed.) - *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: Embrapa SEA. p. 189-225.
- Oliveira, F. de A. de; Medeiros, J.F. de; Alves, R. de C.; Linhares, P.S.F.; Medeiros, A.M.A. de & Oliveira, M.K.T. de (2014) - Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 18, n. 5, p. 480-486. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000500003>
- Oliveira, F. de A. de; Medeiros, J.F. de; Oliveira, F.R.A. de; Oliveira, M.K.T. de & Freire, A.G. (2012) - Sensibilidade do algodoeiro ao cloreto de mepiquat em condições salinas. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 43, n. 3, p. 484-492. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000300010>
- Reis, F.O. & Campostrini, E. (2011) - Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Agrociência*, vol. 17, n. 1, p. 284-295. <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v17i1.2033>
- Richards, L.A. (1954) - *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agriculture Handbook No. 60, Washington: USDA, Department of Agriculture. 160 p.

- Santos, B. dos; Ferreira, P.A.; Oliveira, F.G. de; Batista, R.O.; Costa, A.C. & Cano, M.A.O. (2012) - Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. *Idesia*, vol. 30, n. 2, p. 69-74. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000200009>
- Santos, C.M.; Gonçalves, E.R.; Endres, L.; Gomes, T.C.A.; Jadoski, C.J.; Nascimento, L. A. & Santos, E. D. (2010) - Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, vol. 3, n. 3, 95-102.
- Silva, E.N. da; Silveira, J.A.G.; Rodrigues, C.R.F.; Lima, C.S. de & Viégas, R.A. (2009) - Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-manso submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 44, n. 5, p. 437-445. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000500002>
- Silva, E.N.; Ribeiro, R.V.; Ferreira-Silva, S.L.; Viégas, R.A. & Silveira, J.A.G. (2011) - Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Scientia Agricola*, vol. 68, n. 1, p. 62-68. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000100010>
- Sousa, A.E.C.; Gheyi, H.R.; Correia, K.G.; Soares, F.A.L. & Nobre, R.G. (2011) - Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 2, p. 310-318. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000200008>
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2013) - *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 819 p.
- Tester, M. & Bacic, A. (2005) - Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiology*, vol. 137, n. 1, p. 791-793. <https://doi.org/10.1104/pp.104.900138>
- Trindade, A.R.; Lacerda, C.F. de; Gomes Filho, E.; Prisco, J.T. & Bezerra, M.A. (2006) - Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 10, n. 4, p.804-810. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000400004>
- Wolff, W.M. & Floss, E.L. (2008) - Correlação entre teores de nitrogênio e de clorofila na folha com o rendimento de grãos de aveia branca. *Ciência Rural*, vol. 38, n. 6, p. 1510-1515. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000600003>