

Resposta fisiológica do algodão colorido em estresse salino

Elizandra Ribeiro de Lima Pereira¹, Marcos Barros de Medeiros², Janivan Fernandes Suassuna³, Virgínia Maria Magliano Morais⁴, Hélder Formiga Fernandes⁵, Andréia Santos de Lima⁶, Natanaelma Silva da Costa⁷ e Pedro Dantas Fernandes³

¹Gerência Regional de Educação Mata Norte. Rua Coelho Neto, S/Nº. Juá. Nazaré da Mata-PE, Brasil (CEP 55800-000). E-mail: elizandraribeiro00@gmail.com.

²Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias. Departamento de Agricultura. *Campus* III. Bananeiras-PB, Brazil (CEP 58220-000).

³Universidade Estadual da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. Rua Baraúnas, 351. Bairro Universitário. Campina Grande-PB, Brasil (CEP 58429-500).

⁴Universidade Federal da Paraíba. Centro de Educação. Departamento de Fundamentação da Educação. *Campus* I. João Pessoa-PB, Brazil (CEP 58051-900).

⁵Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. *Campus* I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900).

⁶Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. *Campus* Capão do Leão. Sala 602B (Departamento de Fitotecnia). Pelotas/Capão do Leão-RS, Brasil (CEP 96010-900).

⁷Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (RENORBIO). *Campus* I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900).

Resumo. O estresse salino representa um dos mais sérios fatores que limitam o crescimento e a produção das culturas. Objetivou-se nesta pesquisa conhecer qual a conduta de resposta fisiológica de dez genótipos de algodão colorido, submetidos a três diferentes condições de estresse salino em ambiente telado. O experimento foi conduzido no Município de Campina Grande-PB. O delineamento experimental foi bloco casualizado com 10 tratamentos, três condições de salinidade e três repetições. Cada parcela foi constituída de 10 tubetes de 288 mL contendo uma planta cada utilizando NaCl, CaCl₂, MgCl₂. Foram avaliadas a condutância estomática (gs) (mol m⁻² s⁻¹), taxa de assimilação de CO₂ (A) (µmol m⁻² s⁻¹), transpiração (E) (mmol m⁻² s⁻¹) e concentração interna de CO₂ (Ci) (µmol mol⁻¹). Por meio da relação entre A/Ci obteve-se a eficiência instantânea de carboxilação, e entre a taxa de assimilação de CO₂ (A) a transpiração. Conclui-se que o estresse salino causa alterações fisiológica pela perda da concentração interna e condutância

Recebido
23/12/2019

Aceito
28/07/2020

Disponível *on line*
31/07/2020

Publicado
31/08/2020



Acesso aberto

estomática dos genótipos do algodoeiro colorido estudado. A variedade BRS Safira é mais sensível ao estresse salino. Duas variedades e quatro linhagens mostraram ser mais tolerantes ao estresse salino.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L.; Condutividade elétrica; Salinidade.

Abstract. Colored cotton physiological behavior submitted to salt stress. Salt stress, represents one of the most serious factors limiting the growth and yield of crops. The objective of this study was to evaluate the physiological behavior in ten colored cotton genotypes, under three different conditions of salt stress in a greenhouse environment. The experiment was conducted in the Municipality of Campina Grande, Northeast of Brazil. The experimental design was randomized block with 10 treatments, three salinity conditions and three replications. Each plot consisted of 10 tubes of 288 mL each containing a plant using the NaCl, CaCl₂, MgCl₂. Were evaluated stomatal conductance (gs) (mol m⁻² s⁻¹), CO₂ assimilation rate (A) (μmol m⁻² s⁻¹), transpiration (E) (mol m⁻² s⁻¹) and internal CO₂ concentration (Ci) (μmol mol⁻¹). Using the relationship between A/Ci obtained the instantaneous carboxylation efficiency, and between the rate of CO₂ uptake (A) perspiration. It is concluded that salt stress causes physiological changes by the loss of internal concentration and stomatal conductance of colored cotton genotypes studied. BRS Safira The variety is more sensitive to salt stress. Two varieties and strains, proved to be more tolerant to salt stress.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L.; Electrical conductivity; Salinity.



ORCID

0000-0003-3191-182X
Elizandra Ribeiro de
Lima Pereira

0000-0002-1633-3227
Marcos Barros de
Medeiros

0000-0001-8768-0261
Janivan Fernandes
Suassuna

0000-0002-0370-0673
Hélder Formiga
Fernandes

0000-0001-8083-1979
Virgínia Maria Magliano
Morais

0000-0002-0154-5243
Andréia Santos de Lima

0000-0002-5747-6507
Natanaelma Silva da
Costa

0000-0001-5070-1030
Pedro Dantas
Fernandes

Introdução

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), raça *latifolium* Hutch., é uma das dez principais espécies domesticadas pelo ser humano, tida em termos econômicos como trina, por produzir fibra - seu principal produto - que atualmente ainda veste quase metade da humanidade, óleo que serve para alimentação humana e para a produção de energia (biodiesel) (Beltrão, 2008). Em função da instabilidade climática das áreas agrozoneadas da Região Nordeste, é imprescindível o uso da irrigação para se ter uma cotonicultura economicamente sustentável e produtiva. Registros muito antigos, pertencentes às civilizações Incas e de outros povos antigos das Américas, África e Austrália dão conta da existência e utilização do algodão colorido por aqueles povos. Devida às características inferiores das fibras, a produção industrial têxtil deixou o algodão de fibra colorida totalmente abandonado, utilizado apenas como planta ornamental e para confecção de artesanatos em alguns estados, como os da Bahia e Minas Gerais. Atualmente, através de programas de melhoramentos genéticos desenvolvidos pela EMBRAPA, várias variedades de fibra colorida têm surgido com qualidade semelhante ou superior a fibra do algodão branco (Daniel et al., 2011).

A constante necessidade pelo aumento da produção agrícola, como resposta ao aumento da população mundial, induz inevitavelmente a incorporação de novas áreas com potencial para a produção. O aproveitamento de algumas áreas como as de regiões áridas e semiáridas esbarra em alguns obstáculos como a salinidade e o potencial de sodicidade da água, utilizada na irrigação, cuja finalidade principal é proporcionar umidade adequada para o crescimento e desenvolvimento das plantas, visando a aumentar a produtividade e, conseqüentemente, a reduzir os efeitos da estiagem (Ribeiro et al., 2001).

O estresse salino representa um dos mais sérios fatores que limitam o crescimento e a produção das culturas, induzindo a modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores. A incorporação de sais aos solos pela irrigação aumenta com a condutividade elétrica das águas, independente da composição química significando que tanto as águas dos mananciais de superfície como subterrâneas ou aquelas preparadas em laboratório, são tanto mais agressivas aos solos e às plantas quanto maiores forem as suas concentrações salinas (Arruda et al., 2002).

Material e métodos

Neste trabalho, constituído de um experimento com estresse salino, foram estudados 10 genótipos (variedades e híbridos) de algodão colorido, cujas sementes foram fornecidas pelo Programa de Melhoramento Genético de Algodão Colorido, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, Campina Grande-PB, em parceria com a Universidade Estadual da Paraíba.

O experimento foi conduzido em ambiente protegidas em casa de vegetação, com cobertura de fibro-polipropileno transparente e telado nas laterais, no período compreendido de dezembro de 2011 e julho de 2012, nas instalações da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola/UFCG, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, em Campina Grande-PB, para verificar os efeitos do estresse salino de água de irrigação nos genótipo por referente quatro variedades e seis linhagens de algodoeiro colorido.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 10 x 3, sendo, dez genótipos (quatro variedades: BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde, BRS Topázio seis linhagens CNPA 2009/06, CNPA 2009/11, CNPA 2009/13, CNPA 2009/50, CNPA 2009/27, CNPA 2009/42), três níveis de salinidade (1) sem estresse (água de abastecimento com condutividade de $0,6 \text{ dSm}^{-1}$) de 7 a 43 dias após a semeadura (DAS), (2) água com teor salino de 2 dSm^{-1} de 7 a 15 dias após a semeadura (DAS), intensificando-se o estresse salino a partir do 16º DAS com aumento para 10 dSm^{-1} até o final do experimento aos 43 DAS, e (3) água com teor salino de 5 dSm^{-1} de 7 a 15 dias após a semeadura (DAS), intensificando-se a partir do 16º DAS o estresse salino com aumento para 10 dSm^{-1} até o final do experimento aos 43 DAS. A unidade experimental foi constituída de um tubete de material orgânico polimérico sintético com volume de 288 mL.

Análise das trocas gasosas - IRGA

As variáveis de trocas gasosas foram mensuradas com uso de um equipamento contendo IRGA (Infra Red Gas Analyser), modelo LCpro+ da ADC, Inglaterra, aos 15, 30 e 45 DAS, nos horários entre 9h00min e 10h00 min da manhã. Tais medidas foram realizadas sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, temperatura do ar de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e concentração interna de CO_2 ambiente constante de $380 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (Magalhães Filho et al., 2008).

Foram avaliadas a condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol. m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). Por meio da relação entre A/Ci obteve-se a eficiência instantânea de

carboxilação, e entre a taxa de assimilação de CO₂ (A) e a transpiração (E), obteve-se eficiência intrínseca no uso da água (EUA) (A/E) [(μmol m⁻² s⁻¹) (mol m⁻² s⁻¹)⁻¹].

O delineamento experimental foi em bloco casualizados, com três repetições e a parcela foi composta por 10 plantas úteis de cada genótipo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

Resultados e discussão

Está disposto na Tabela 1, o resultado da análise de variância dos dados obtidos na avaliação das trocas gasosas das plantas, realizada aos 22 DAS, época do término da primeira etapa do trabalho. Na Tabela 2 são apresentadas as médias resultantes do desdobramento da interação entre os fatores Salinidade (SAL) e genótipo (GEN) nas variáveis, condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO₂ (A), eficiência intrínseca do uso da água (EUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiC).

Tabela 1. Taxa de assimilação de CO₂ (A); condutância estomática (gs), (Ci) concentração interna de CO₂, (E) taxa de transpiração, (A/E) eficiência do uso de água e (A/Ci) eficiência instantânea de carboxilação, em genótipos de algodão colorido sob três diferentes níveis de estresse salino, Campina Grande, 2012.

FV	GL	Quadrado médio					
		Ci (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	gs (mol m ⁻² s ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	A/E	A/Ci
GEN	99	2581,595833**	0,391476 ^{ns}	0,002281 ^{ns}	15,315586**	2,341547**	0,000413**
SAL	22	16617,612500**	0,693781 ^{ns}	0,035701**	0,963605 ^{ns}	2,341547 ^{ns}	0,000226 ^{ns}
G x S	118	937,751389 ^{ns}	0,325353 ^{ns}	0,003012 ^{ns}	2,723488 ^{ns}	0,441160 ^{ns}	0,000068 ^{ns}
RES	160	647,837500	0,388346	0,001624	4,049558	0,579203	0,000092
CV		10,84	27,97	32,08	25,66	21,26	27,83

ns - não significativo; * - significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na concentração interna de CO₂ ou concentração de CO₂ na câmara subestomática (Ci), constatou-se diferença significativa em função dos dois fatores (SAL e GEN), ao nível de (p < 0,01) apenas, não se constatou significância em função da interação entre eles (Tabela 2). Percebeu-se no estudo desta variável, que a Ci teve padrão de resposta semelhante nas plantas submetidas ou não ao estresse hídrico. Registraram-se, nos genótipos, valores em Ci de 226,87, 215,87, 228,37, 243,12, 275,37, 243,25, 236,12, 231,00, 239,00 e 209,87 μmol mol⁻¹ nos genótipos BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde; BRS Topázio, CNPA/2009-06, CNPA/2009-11, CNPA/2009-13, CNPA/2009-50, CNPA/2009-27 e CNPA/2009-42, respectivamente. Com o fechamento parcial dos estômatos, evidenciado neste trabalho pela condutância estomática, não causar redução de Ci, houve variação significativa dessa característica entre os tratamentos salinos, fato devido a normalidade na atividade fotossintética, como os estômatos regulam a concentração subestomática de CO₂ durante as trocas gasosas, o Ci se mantém relativamente constante. Assim, o Ci reflete a disponibilidade de substrato para a fotossíntese, podendo indicar se o fechamento estomático está restringindo a atividade fotossintética. Ressalte-se que os valores observados no presente trabalho estiveram entre 215 e 275 μmol mol⁻¹ nos dez genótipos, conforme visto anteriormente.

Tabela 2. A taxa de assimilação de CO₂ (A); condutância estomática (gs) (Ci) concentração interna de CO₂, (E) taxa de transpiração,(A/E) eficiência do uso de água e(A/Ci)eficiência instantânea de carboxilação, em genótipos de algodão colorido sob três diferentes níveis de estresse salino, Campina Grande, 2012.

GEN	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A/E	A/Ci
1 - BRS RUBI	8,21 ^a	0,12 ^a	226,87 ^b	2,08 ^a	4,04 ^a	0,03 ^a
2 - BRS SAFIRA	8,12 ^a	0,10 ^a	215,87 ^b	1,93 ^a	4,23 ^a	0,03 ^a
3 - BRS VERDE	8,77 ^a	0,13 ^a	228,37 ^b	2,26 ^a	3,90 ^a	0,03 ^a
4 - BRS TOPÁZIO	8,23 ^a	0,14 ^a	243,12 ^b	2,43 ^a	3,42 ^b	0,03 ^a
5 - CNPA/2009-06	4,59 ^b	0,09 ^a	275,37 ^a	1,83 ^a	2,41 ^c	0,01 ^c
6 - CNPA/2009-11	6,91 ^a	0,11 ^a	43,25 ^b	2,15 ^a	3,29 ^b	0,02 ^b
7 - CNPA/2009-13	7,47 ^a	0,12 ^a	236,12 ^b	2,27 ^a	3,45 ^b	0,03 ^a
8 - CNPA/2009-50	8,73 ^a	0,13 ^a	231,00 ^b	2,44 ^a	3,64 ^b	0,03 ^a
9 - CNPA/2009-27	7,61 ^a	0,13 ^a	239,00 ^b	2,39 ^a	3,26 ^b	0,03 ^a
10- CNPA/2009-42	7,61 ^a	0,13 ^a	209,87 ^b	2,45 ^a	4,12 ^a	0,04 ^a
DMS	0,90	0,01	11,38	0,27	0,34	0,00
Estresse salino						
S.E.	7,95 ^a	0,14 ^a	249,30 ^a	2,32 ^a	3,50 ^a	0,03 ^a
C.E.	7,73 ^a	0,10 ^b	220,47 ^b	2,13 ^a	3,65 ^a	0,03 ^a

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Concentração interna de CO₂ (Ci)

Na concentração interna de CO₂ ou concentração de CO₂ na câmara subestomática (Ci), constatou-se diferença significativa em função dos dois fatores (SAL e GEN), a nível de ($p < 0,01$) apenas, não se constatou significância em função da interação entre eles (Figura 1). Percebeu-se no estudo desta variável, que a Ci teve padrão de resposta semelhante nas plantas submetidas ou não ao estresse hídrico.

Com base em estudos de plantas cultivadas em campo e seguindo a previsão da concentração de CO₂ para 2050, de acordo com Leakey et al. (2006) são seis os principais efeitos do aumento de CO₂ ambiente no metabolismo de carbono: (1) incremento da assimilação de CO₂ (A) e da produção de biomassa; (2) aumento da eficiência de uso de nitrogênio, porque menos ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RuBisCO) será necessária, conseqüentemente haverá menor produção dessa enzima; (3) menor condutância estomática (gs), com maior eficiência de uso de água por planta e por área cultivada; (4) estímulo da taxa de respiração mitocondrial (Rm) por aumento da transcrição e atividade de enzimas envolvidas na Rm; (5) ausência de estímulo direto de A em plantas C₄, mas haverá estímulo indireto, causado por secas previstas, pela redução de gs das plantas C₄ nos horários de maior demanda evaporativa atmosférica; (6) o aumento em A e da produtividade agrícola serão menores que os previstos. O aumento de A, previsto por experimentos em ambiente controlado seria de 38%, mas os estudos em campo, com arroz, trigo e soja, mostram um aumento médio de apenas 14% em A, de 16% na biomassa e de 13% na produtividade, e para a cultura do milho poderá haver um ligeiro aumento em A, quando sob seca (Long et al., 2006).

Segundo Machado et al. (2009), o decréscimo em Ci poderia acarretar queda em A devido à redução na concentração de CO₂ para atividade da RuBisCO. Entretanto, menores valores de Ci também estimulam a abertura dos estômatos permitindo maior influxo de CO₂ para a cavidade subestomática, o que tende a um equilíbrio entre consumo e entrada de CO₂, mantendo Ci aproximadamente constante.

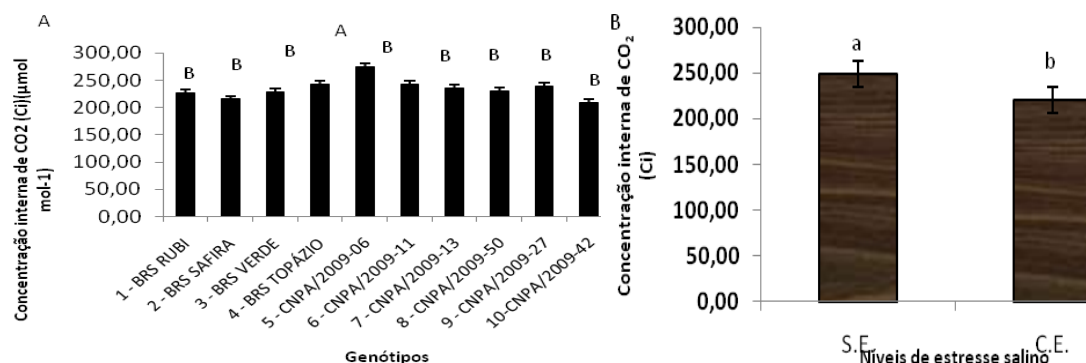


Figura 1. A concentração interna de CO₂(Ci) A- nos genótipos e B- níveis de salinidade, Campina Grande, 2012.

Transpiração (E)

Registrou-se influência ($p < 0,01$) isolada dos fatores GEN e SAL (Tabela 1). O efeito por parte do manejo salino ocorreu de forma diferenciada entre os genótipos de algodão. Os genótipos sem estresse salino apresentaram um desenvolvimento determinado entre 2,30 e 2,35 mmol, e os genótipos expostos ao estresse salino, entre 2,10 e 2,15 mmol. Registraram-se, nos genótipos, valores em E de 2,08, 1,93, 2,26, 2,43, 1,83, 2,15, 2,27, 2,44, 2,39, 2,45 mmol, nos genótipos BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde, BRS Topázio, CNPA/2009-06, CNPA/2009-11, CNPA/2009-13, CNPA/2009-50, CNPA/2009-27 e CNPA/2009-42, respectivamente, corroborando com Vale et al. (2005) que observaram em seu trabalho sobre estresse salino na cultura do algodoeiro, que a aplicação de água de irrigação com elevadas concentrações salinas no solo proporcionou redução no desenvolvimento do algodoeiro. As plantas que foram irrigadas com o nível de menor condutividade elétrica obtiveram um melhor crescimento.

Como alguns desses genótipos tem baixo potencial de crescimento e tendência a serem tolerantes, a baixa transpiração pode indicar um mecanismo de auxílio aliado também à condutância estomática. Mattos Junior et al. (2005) relataram transpiração em laranja oscilando entre 1,0 e 12,0 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹.

A redução da transpiração é um mecanismo que ajuda a reduzir a rápida exaustão da água no solo pelas plantas (Larcher, 2004). Comumente, quando o fluxo interno de água na folha se torna insuficiente para a manutenção da turgescência foliar, tal fato atua diretamente no declínio da condutância estomática e da transpiração (Larcher, 2006), o que observamos nesse trabalho. Como a abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, pode haver grande restrição da transpiração, quando o déficit de água na planta for muito grande (Cerqueira et al., 2004).

Magalhães Filho et al. (2008) constataram relação entre a redução na disponibilidade hídrica no solo com redução do potencial de água na folha, situação que causa fechamento parcial dos estômatos e redução na condutância estomática, implicando em queda da transpiração e da taxa de assimilação de CO₂. Larcher (2006), explica que, à medida em que a disponibilidade de água no solo diminui, o fechamento dos estômatos provoca um decréscimo na taxa de transpiração, Tatarigiba et al. (2007) acrescentam que, quando os estômatos estão totalmente abertos, a absorção de CO₂ é mais limitada pela resistência de transferência do que a perda de água por transpiração. Assim, os autores relatam que a melhor relação entre absorção de CO₂ e perda de água é alcançada quando os estômatos estão parcialmente fechados; esta situação é observada no início da deficiência hídrica, quando os dois processos de difusão são reduzidos e a relação fotossíntese/transpiração atinge os maiores valores.

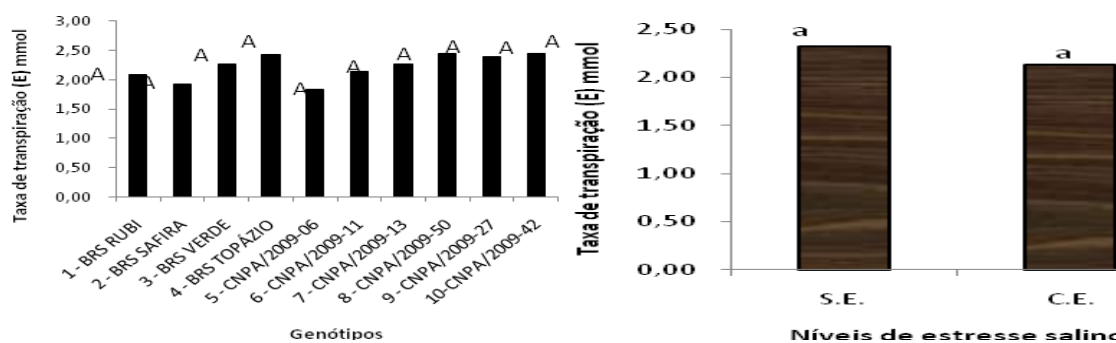


Figura 2. Teste de médias para Taxa de transpiração (E), dos genótipos e os níveis da salinidade Campina Grande, 2012.

Condutância estomática (gs)

Como observado na Tabela 1, obteve-se significância estatística ($p < 0,01$) dos fatores GEN e SAL, nos dados de condutância estomática; em relação a SAL, seu efeito não foi semelhante em todos os genótipos pois se percebeu, nas médias de condutância estomática, expostas na Tabela 6, diferença significativa ($p < 0,01$) em alguns genótipos. Registraram-se, nos genótipos, valores em (gs) de 0,12, 0,10, 0,13, 0,14, 0,09, 0,11, 0,12, 0,13, 0,13 e 0,13 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, nos genótipos BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde, BRS Topázio, CNPA/2009-06, CNPA/2009-11, CNPA/2009-13, CNPA/2009-50, CNPA/2009-27 e CNPA/2009-42, respectivamente.

Salienta-se que a diminuição na gs em consequência do déficit hídrico decorrente do estresse salino, significa aumento da resistência estomática para manutenção do potencial hídrico nas folhas, resposta já esperada em plantas nessa condição. É necessário lembrar, contudo, que esta redução ocorre a custos de energia limitando o crescimento e a produção do vegetal. Dessa forma, pode-se afirmar que a condutância estomática em algodão é responsiva à queda da umidade do solo, ressaltando-se que, no presente estudo, essa resposta foi dependente também do genótipo utilizado como afirma (Parida, 2005; Silva et al., 2009). As espécies cultivadas podem ser classificadas em tolerantes ou sensíveis e o nível de tolerância, assim como os níveis de sais que são letais, varia grandemente entre as diferentes espécies vegetais e dentro de uma mesma espécie.

Quanto aos genótipos dentro dos manejos salinos, pode-se constituir indícios de menor efeito da deficiência hídrica nesses materiais, nessa fase específica de crescimento, lembrando que a avaliação das trocas gasosas foi realizada apenas na primeira etapa de estresse e que essas respostas podem ser diferentes se medidas em situação de maior estresse hídrico.

Sabe-se que a abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração caso o déficit de água na planta seja muito grande (Cerqueira et al., 2004). Larcher (2006), cita que os estômatos, por atuarem como reguladores da perda de água pela transpiração, respondem ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro estomático numa faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar. A intensidade dessa transpiração varia com a ação de fatores internos (área superficial, distribuição e número dos estômatos) e de fatores externos (luz, umidade do ar, temperatura e disponibilidade de água no solo) (Cerqueira et al., 2004). Vale et al. (2005) observa que, mesmo havendo interferência de outros fatores sobre os estômatos e, por consequência, sobre a condutância estomática é possível evidenciar, pelos resultados encontrados, o efeito do estresse salino sobre a gs nas plantas jovens de algodão, neste caso, na dependência do genótipo.

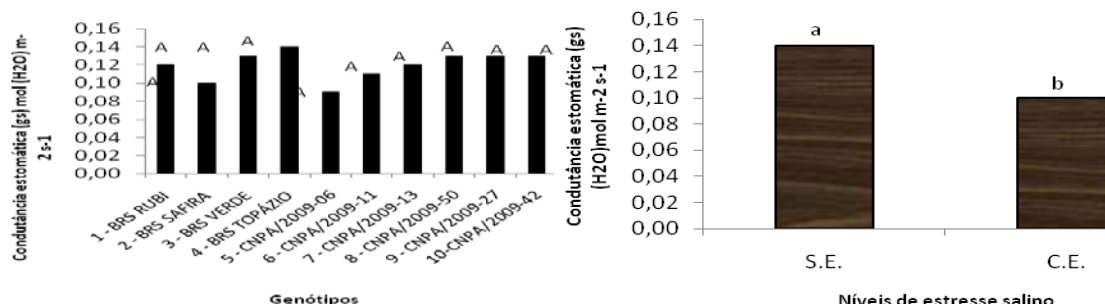


Figura 3. A Condutância estomática (gs). Nos genótipos e níveis de salinidade, Campina Grande, 2012.

Taxa de assimilação de CO₂ (A)

Pelos dados da análise de variância dispostos na Tabela 1, a taxa de assimilação de CO₂, ou fotossíntese líquida, foi afetada apenas no fator GEN ao nível de ($p < 0,01$). Registraram-se, nos genótipos, valores em A de 8,21, 8,12, 8,77, 8,23, 4,59, 6,91, 7,47, 8,73, 7,61 e 7,61 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, nos genótipos BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde, BRS Topázio, CNPA/2009-06, CNPA/2009-11, CNPA/2009-13, CNPA/2009-50, CNPA/2009-27 e CNPA/2009-42, respectivamente, tal como se constataram decréscimos em gs e em E, em razão desse fator de estresse. Decréscimos de gs e, conseqüentemente, de A são resultados comumente relatados em espécies cultivadas (Chaves et al., 2009).

Ribeiro et al. (2009), explica que em função das resistências associadas ao fluxo da água no sistema solo-planta-atmosfera, ocorre defasagem entre a absorção de água pelas raízes e a transpiração. Com isto, o fechamento parcial dos estômatos é uma estratégia para evitar desidratação excessiva ou uma consequência de desbalanço hídrico na epiderme das folhas, levando à redução de fotossíntese.

Machado et al. (2009) e Suassuna (2010), descreveram queda na atividade metabólica da fotossíntese de uma planta sob estresse hídrico, por exemplo. Oliveira et al. (2002) relataram que o fechamento parcial dos estômatos, observado por meio da diminuição da condutância estomática e queda na taxa de transpiração, mais rápida que a queda na fotossíntese, indica existência de mecanismos e adaptação, no sentido de diminuir as perdas de água, quando em situação de estresse hídrico.

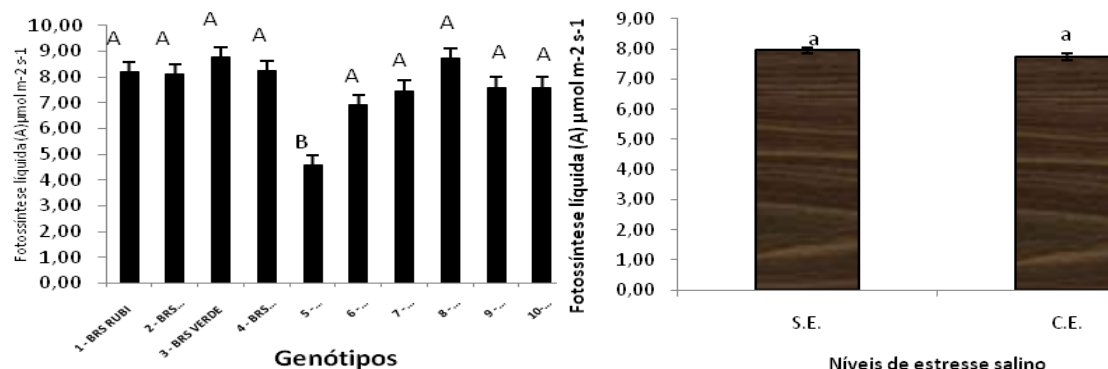


Figura 4. A taxa de assimilação de CO₂ (A), nos genótipos e nos níveis de salinidade), Campina Grande, 2012.

Eficiência intrínseca do uso da água (EUA), (A/E)

Notou-se ausência de diferença significativa na A/E, em função do fator SAL e na interação. Em relação ao fator genótipo (GEN) obteve-se efeito significativo ($p < 0,01$) sobre essa variável, só tendo o manejo salino, afetado essa resposta nas plantas, na dependência dos genótipos estudados (Tabela 1). Observou-se, nos genótipos, valores em A/E de 4,04, 4,23, 3,90, 3,42, 2,41, 3,29, 3,45, 3,64, 3,26 e 4,12 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$], nos genótipos BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde, BRS Topázio, CNPA/2009-06, CNPA/2009-11, CNPA/2009-13, CNPA/2009-50, CNPA/2009-27 e CNPA/2009-42, respectivamente. Observou-se que houve, nesses genótipos, equilíbrio entre o CO_2 fixado pela planta e a perda de água resultante desse processo; isto se relaciona com o fato da maior resistência estomática dificultar mais a perda de água do que a entrada de gás carbônico.

Deve-se atribuir importância, neste aspecto, aos genótipos em que essa avaliação não foi afetada pelo decréscimo na umidade, fato que denota haver mecanismos nesses materiais que resulta em maior eficiência na manutenção do equilíbrio entre A e E. Os valores médios encontrados neste trabalho estão na faixa de 2,41 a 4,23 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$].

Durante as trocas gasosas, a absorção de CO_2 do meio externo promove perda de água e a planta para poder diminuir tal perda, restringe a entrada de CO_2 (Shimazaki e Yamaguchi-Shinozaki, 2007). Esta interdependência expressa pela relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência no uso da água (A/E), que relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde (Taiz e Zeiger, 2009).

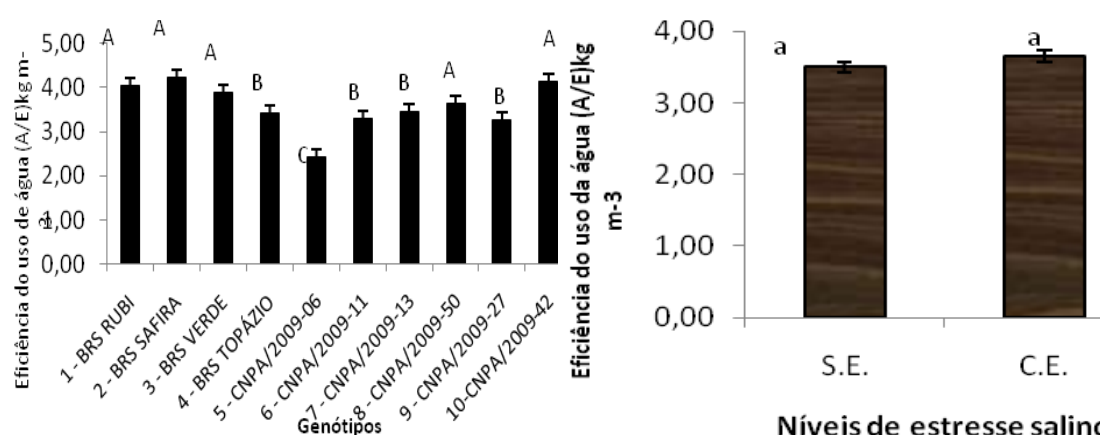


Figura 4. Eficiência do uso de água. (A/E) do genótipo e níveis de salino de algodão, Campina Grande, 2012.

Eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci)

A eficiência na carboxilação, dada pela relação entre a taxa de assimilação de CO_2 e a concentração de CO_2 intercelular (A/Ci), é uma forma de se estudar os fatores não estomáticos que interferem na taxa fotossintética (Konrad et al., 2005). Nesta variável os efeitos em função do fator GEN, apresentou significância de ($p < 0,01$) e o fator sal e a interação não apresentaram significância para essa variável (Tabela 1). Já pelos dados apresentados na Tabela 1, constatou-se igualdade nas médias de A/Ci das plantas submetidas a estresse. É provável que este resultado seja reflexo de maior assimilação de CO_2 , em relação ao CO_2 encontrado na câmara subestomática nesses genótipos, pois é

notório que, se C_i aumenta em consequência da taxa de abertura dos estômatos, a relação A/C_i , também, aumenta; em outra hipótese, a entrada de CO_2 no mesófilo foliar pode ter diminuído em função do decréscimo de g_s , mas o consumo de CO_2 no cloroplasto pode, também, ter sido reduzido.

Observou-se, nos genótipos estudados, valores em A/C_i de 0,03, 0,03, 0,03, 0,03, 0,01, 0,02, 0,03, 0,03, 0,03 e 0,04 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), nos genótipos BRS Rubi, BRS Safira, BRS Verde, BRS Topázio, CNPA/2009-06, CNPA/2009-11, CNPA/2009-13, CNPA/2009-50, CNPA/2009-27 e CNPA/2009-42, respectivamente. Segundo Farquhar e Sharkey (1982) a atividade bioquímica da fotossíntese pode ser avaliada por esta relação (A/C_i).

É possível que tais resultados sejam reafirmados no estudo da produção de fitomassa, podendo-se, então, identificar a relação entre a eficiência nas trocas gasosas e a formação de fitomassa nas plantas, podendo essas respostas serem alteradas com a continuidade e intensificação do nível de estresse. No contexto, o estresse pela baixa disponibilidade hídrica (seca) é um dos principais problemas da agricultura e a habilidade das plantas para resistir a tal estresse é de suma importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país (Queiroz, 2010).

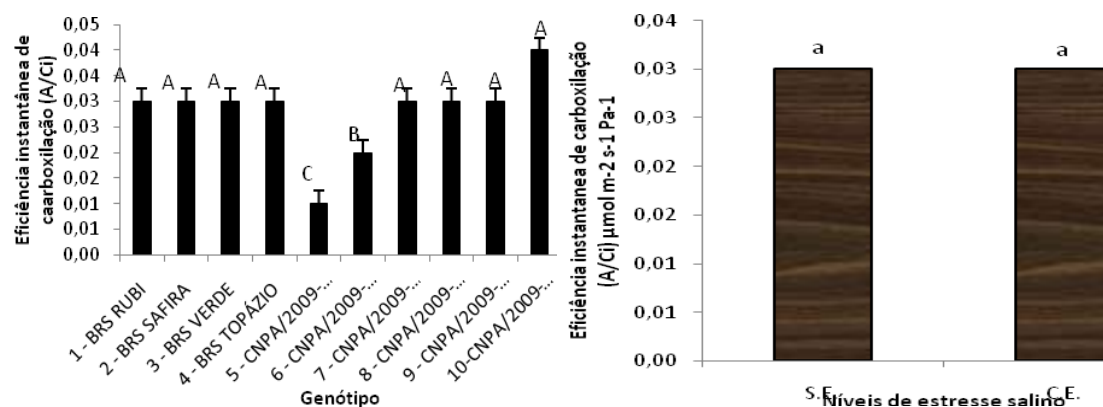


Figura 5. Eficiência do uso de água (A/C_i). A- genótipos, B- níveis de estresse salino do algodão, Campina Grande, 2012.

Conclusões

O estresse salino causa alterações fisiológicas expresso pela perda da concentração interna e condutância estomática dos genótipos do algodoeiro colorido estudado.

A variedade BRS Safira é a mais sensível ao estresse salino.

As variedades BRS Verde, BRS Topázio, e as linhagens CNPA/2009-06, CNPA/2009-27, CNPA/2009-42 e CNPA/2009-50, mostraram mais tolerantes ao estresse salino.

Conflict of interests

Authors declare that they have no conflict of interests.

Referências

- Arruda, F. P.; Andrade, A. P.; Silva, I. F.; Pereira, I. E.; Guimarães, A. M. Emissão/abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA7H: efeito do estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 21-27, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100005>
- Beltrão, N. E. M.; Azevedo, D. M. P.; Cardoso, G. D.; Vale, L. S.; Albuquerque, W. G. Ecofisiologia do algodoeiro. In: Beltrão, N. E. M.; Azevedo, D. M. P. (Ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2008. p. 61-110.
- Cerqueira, E. C.; Castro Neto, M. T.; Peixoto, C. P.; Soares Filho, W. S. Ledo, C. A. S.; Oliveira, J. G. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 515-519, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000300034>
- Chaves, L. H. G.; Barros Jr., G.; Lacerda, R. D.; Cabral, P. C.; Cunha, T. H. C. Resposta da mamoneira adubada com zinco e cobre. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 306-319, 2009.
- Daniel, V. C.; Sevilha R. R.; Silva, F. F.; Zonetti, T. C. Germinação e crescimento de plântulas de algodão colorido sob condições de estresse salino. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 321-333, 2011.
- Farquhar, G. D.; Sharkey, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, p. 317-345, 1982. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533>
- Konrad, M. L. F.; Silva, J. A. B.; Furlani, P. R.; Machado, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000300004>
- Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004.
- Leakey, A. D. B.; Uribeblarrea, M.; Ainsworth, E. A.; Naidu, S. L.; Rogers, A.; Ort, D. R.; Long, S. P. Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open-air elevation of CO₂ concentration in the absence of drought. **Plant Physiology**, v. 140, p. 779-790, 2006. <https://doi.org/10.1104/pp.105.073957>
- Long, S. P.; Ainsworth, E. A.; Leakey, A. D. B.; Nösberger, J.; Ort, D. R. Food for thought: Lower-than expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. **Science**, v. 312, p. 1918-1921, 2006. <https://doi.org/10.1126/science.1114722>
- Machado, R. S.; Ribeiro, R. V.; Marchiori, P. E. R.; Machado, D. F. S. P.; Machado, E. C.; Landell, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200003>
- Magalhães Filho, J. R.; Amaral, L. R.; Machado, D. F. S. P.; Medina, C. L.; Machado, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100009>
- Mattos Júnior, D.; Negri, J. D.; Pio, R. M.; Pompeu Júnior, J. **Citros C498**. Campinas: Instituto Agrônomo, FUNDAG, 2005.
- Oliveira, A. L. M.; Urquiaga, S.; Döbereiner, J.; Baldani, J. I. The effect of inoculating endophytic N₂-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. **Plant and Soil**, v. 242, p. 205-215, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1016249704336>

Parida, A. K.; Das, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>

Queiroz, R. J. B. **Resposta fisiológica e molecular de dois genótipos de milho à limitação hídrica**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010. (Tese de doutorado).

Ribeiro, M. C. C.; Marques, M. B.; Amaro Filho, J. Efeito da salinidade na germinação de sementes de quatro cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 1, p. 281-284, 2001.

Ribeiro, R. V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranja "Valência"**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2006. (Tese de doutorado).

Sá, J. R. **Níveis de salinidade da água sobre o comportamento do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) cultivado em recipientes de polietileno**. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1999. (Monografia de graduação).

Shinozaki, K.; Yamaguchi-Shinozaki, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl164>

Silva, E. N.; Silveira, J. A. G.; Fernandes, C. R. R.; Dutra, A. T. B.; Aragão, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 240-246, 2009.

Suassuna, J. F.; Melo, A. S.; Sousa, M. S. S.; Costa, F. S.; Fernandes, P. D.; Pereira, V. M.; Brito, M. E. B. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sob lâminas de água. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 566-571, 2010.

Taiz, T.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ArtMed, 2009.

Tatagiba, S. D.; Pezzopane, J. E. M.; Reis, E. F.; Dardengo, M. C. J. D.; Effgen, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120152>

Vale, L. S.; Miranda, M. F. A.; Nascimento Júnior, R. R.; Silva, M. I. L.; Beltrão, N. E. M.; Araújo Filho, C. J. Efeito da salinidade na cultura do algodoeiro herbáceo. Anais V do Congresso Brasileiro de Algodão, Campina Grande, Embrapa Algodão, 2005.



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.