



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**JORDÂNIA MARIA GABRIEL PEREIRA**

**RESPOSTA DO ALGODOEIRO SUBMETIDO A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO  
EXCESSIVA E DEFICITÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
ÁGUA SALINA**

**FORTALEZA**

**2017**

JORDÂNIA MARIA GABRIEL PEREIRA

RESPOSTA DO ALGODOEIRO SUBMETIDO A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO  
EXCESSIVA E DEFICITÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA  
SALINA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do solo.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

FORTALEZA

2017

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)

---

- G117r Gabriel Pereira, Jordânia Maria.  
RESPOSTA DO ALGODOEIRO SUBMETIDO A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EXCESSIVA E DEFICITÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA SALINA / Jordânia Maria Gabriel Pereira. – 2017.  
119 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda..
1. Estresses múltiplos. 2. Água salina. 3. Fisiologia do algodoeiro. I. Título.

CDD 631.4

---

JORDANIA MARIA GABRIEL PEREIRA

RESPOSTA DO ALGODOEIRO SUBMETIDO A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO  
EXCESSIVA E DEFICITÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁGUA  
SALINA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do solo.

Aprovada em: 27/06/2017

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Oriel Herrera Bonilla  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Manuel Antônio Navarro Vasquez  
Instituto Federal de Educação (IFCE)

---

Prof. Dr. Elton Camelo Marques  
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)

Aos meus pais Dascinha e José Almir  
Aos meus avós Horácio Gabriel (*in  
memoriam*) Maria Germano (*in  
memoriam*), Joaquina Gabriel (*in  
memoriam*), José Pereira Sobrinho,  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que operou milagres na minha família e na minha vida

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade dada e em especial ao Departamento de Ciências do Solo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro, com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Professor Claudivan Feitosa de Lacerda, que eu nem tenho palavras para agradecer e que independente de ter aceito me orientar aos “45 do segundo tempo” eu já o agradeceria pelo grande profissional e pelo método de ensino, cuja metodologias das provas copiarei se um dia tiver a oportunidade de lecionar.

Aos Professores; Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Oriel Herrera Bonilla, Manuel Antônio Navarro Vasquez, Elton Camelo Marques por aceitarem o convite para fazer parte da Banca de Defesa fazendo excelentes contribuições.

Aos professores do Departamento de solos; Assis Junior, Jaedson, Mirian, Paulo, e ao professor Boanerges. Ao professor Thales, pelo apoio durante o experimento na estação meteorológicas e ao professor Sebastião pela disponibilização das sementes utilizadas nesse estudo e por ser um excelente locador de imóvel.

As pessoas que me ajudaram na condução do experimento: Cícera Juliana, Ueverson, Eduardo, Cícero, Helson, Rosa, Hellen, Clice, Franciele, Valdir, Régis, Leila, Emanuelle, Aureliano, Jardelson, Adriana, Davi, Julia, Patrícia, Tatiane, Petrus e Givanilson. E de forma especial ao Neto, Sassá, Régis, Carlos Henrique e Valdir.

A Dr. Erica Dawer Telles que me ajudou a superar os problemas de desânimo, depressão, insegurança e a canalizar forças para tomar decisões importantes.

A minha mãe e meu pai, que tudo o que eu disser será redundante.

Ao meu Avô Horácio (in memorian) por sempre me fazer as mesmas perguntas, onde você está morando? O que está fazendo? Infelizmente não pude dizer em vida que enfim conclui. Obrigado meu avô, meu senso estético, minha forma de ver o mundo, minha perca doída. A minha avó Maria Germano (in memorian) por me receber com seu abraço e me chamar para rezar, obrigada pela herança de fé, que me ajudou a passar pelos momentos difíceis.

A minha avó Joaquina, “Mininha”, (in memorian), pela sua risada, seu senso de humor, pelos presentes carinhosos sempre que eu tinha tempo de ir em casa e fazer uma visita. Obrigada por ser tão terna e tão brava por vezes, obrigada pela minha infância

feliz. Ao meu Avô José Pereira Sobrinho, um dos últimos baluartes da minha infância, obrigada por ter orgulho de mim, assim como de todos os seus netos.

Aos meus irmãos Deigêla, Larisa, Silvio Henrique e Dávila pelas conversas sem filtro nenhum, falando o que pensa e quase sempre perolas. Obrigada por estreitar mais ainda os nossos laços nesses últimos tempos.

As minhas tias, Ana, Alice, Marlene, Mirian, pela ternura e carinho e aos meus primos: Andrezza, Thiago, Leila, Anailde, Lucas, Gislene e Max pelas conversas bestas, sem sentido, as fofocas e pelo apoio nos momentos difíceis que passei.

A minha segunda família Jomávia, Rozinha, Cleudivan, Ceição, Dayaxny, Thiago, Renato, Jaciane, Carol, Ulai, Ziltália, Eduardo, Hellen, Clíce, Alexandra e Rosa. Agradeço imensamente pela convivência, com a qual eu aprendi muito e devo muito do que sou. Como diz a máxima popular *“Você só conhece uma pessoa, quando come dois quilos de sal com ela”*. Convivendo você entende e percebe que todo mundo tem defeito, tem seus medos, suas angústias e isso nos faz igual. Dividir uma república é um gesto de tolerância, paciência e generosidade, por isso agradeço e peço desculpas pelos meus defeitos.

Aos amigos da Equipe de Liturgia do Colégio Santa Isabel: Aurenita, Esmeralda, Joãozinho, Clarissa, Cristina, Amanda, Aldenia, Franciele, Helena, Inês, Janaina, Kílvia, Rafael, Ritinha, Socorro, Tati, Paiva, Sulamita, Landia, Junior, Cleonardo, Margarida, Orismar, Kauane, Beth, Natália, Carlos, Everson, as queridas irmãs Amanda e Aluizia e aos seminaristas Thyarles e João. Obrigada pelas orações e por me ajudar a me motivar. Aos padres Jean e Sávio pelo apoio espiritual, pela ajuda na tomada de decisões importantes, pelas orações, os sorrisos, as visitas, enfim, por toda a convivência.

Aos amigos da aula de música: Eduardo, Fabrina e Suzana, bem como aos professores, Mayara, Célio, Camila e Nazareno pela amizade e pelas orações.

Aos amigos do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFC: Juarez Junior, Zé Filho, Edineide, Cicero, Isabel, Danielle, Kaio, Cillas, Jeremias, Sayaly, Wilson, Daniel, Priscila, Roberto, Alcione, Wesley, Marcio, Alisson, Aldenia, Cicéro, Vidal, Christine, e Eurilene e aos colegas do Laboratório de Relação Água-Solo-Planta: Aureliano, Mayara, Wilson, Leila, Carlos Henrique, Julia, Ítalo, Neto, Leonária, Davi, Adriana, Sassá, Edineide, Emanuel, Emanuelle, Sassá, Régis, Jardelson e Bruno.

Aos amigos do LABPLANT e do Departamento de Bioquímica da UFC: Gyedre, Yugo, Jones, Pertesson, Jamilya, Gislane, Cristina, Tathiana, Sergio, Cinthya,

Rachel, Rafael, Evandro, Sergio, Gladson e Amnon, a presença de vocês me ajudaram nos momentos mais difíceis durante o meu doutorado.

A todos os meus colegas do CENTEC, especialmente a Jocilene, Ivoneide, Robervania e Iônio (*in memoriam*). Ao Centro Educacional de Referência Padre José Alves de Macedo e aos amigos dessa época; Carla, Amanda, Valeria, Erico e Josefa, pela torcida e a Escola Bernardino Pereira, onde eu descobrir a importância e o desejo pelo conhecimento.

Aos amigos do grupo “Mister Hull e agregados”: Aguiar, Alex, Alexandra, Artur, Cicero, Helson, Clarissa, Clíce, Denise, Edicarla, Eduardo, Edvalter, Francielle, Hellen, Israel, Jaiane, Julio, Maria, Marisa, Nayara, Nino, Olga, Janielly, Fátima, Petrus, Ildenir, Rosa, Tatiane, Raquel, Emanuel, Valdir, Rosenya, Jemima, Davi, Edineide, Isabel, Daniele e Granjeiro, pela convivência e troca de experiências e aprendizados ao longo desses anos árduos.

Aos amigos do “karaokê do Lidu”: Petrus, Tati, Jêmima, Emanuel, bem como o próprio Lidu e seu Brás, pela animação, por me fazer esquecer os problemas, por compor músicas nas horas vagas, pelas rodas de violão, pelas conversas madrugadas a dentro, pelo apoio e pela cobrança da escrita da tese.

Ao amigo André Beah, que durante uma parte significativa desse meu doutorado me escutou com atenção e procurou me entender. Ao meu amigo Davi pelos cafés e conversas de madrugada e os sanduíches de pão com mel antes de ir pra UFC. Ao meu amigo Valdir pela ajuda no experimento e pelas conversas no “*whats app*” ou “*facebook*” levantando a #forçajordania, quando nem eu acreditava.

As minhas amigas Aurea e Nady, por me escutarem nos momentos difíceis, por estarem sempre presentes na minha vida, sendo meu apoio e meus anjos. Ao meu amigo *Jedi* Diego, pela força, pelo incentivo, por compartilhar materiais para estudo, links de palestras motivacionais, pelos vídeos engraçados, pelas conversas agradabilíssimas procurando levantar o meu astral e não me fazer desistir. Aos meus amigos, Edineide, Maria Auxiliadora, Joeferson, Suellen e Petronio por acompanharem meu crescimento nesses anos.

Ao meu amigo Aridiano que sempre me disse que eu era capaz, as vezes bem-humorado, mais quase sempre não. Á ele eu agradeço a minha permanência no doutorado, quando fui levada a acreditar que eu não era incapaz. A ele também agradeço por inserir uma pessoa especial na minha vida, minha amiga Sandra, cuja máxima era; foca no Doutorado.

Aos bolsistas de Iniciação Científica do laboratório de Relação Água-Solo-Planta: Neto, Adriana e Davi, aos quais eu tenho um enorme carinho e o desejo de acompanhar as suas carreiras e o crescimento profissional.

Aos meus amigos Tati e Petrus pelas conversas, pelas risadas por inserir termos populares e quase que arcaicos da língua portuguesa nas nossas conversas diárias. A minha amiga Olga, por achar que minha casa era abrigo de felinos de rua e a minha amiga Maria, pelas conversas animadas e por me incentivar a fazer os “concursos da vida”.

Ao Aureliano por me ajudar nesta reta final, suportando o meu mal humor, meus estresses, meus rompantes de desistir toda segunda feira.

Muitos são os agradecimentos, porque muitos foram os momentos que eu precisei de ajuda. A todos os quais tive o prazer de encontrar e conviver agradeço.

O poema

Uma formiguinha atravessa, em diagonal,  
a página ainda em branco. Mas ele,  
aquela noite, não escreveu nada. Para  
que? Se por ali já haviam passado o  
frêmito e o mistério da vida...

Mario Quintana

## RESUMO

A limitação de água como insumo pela quantidade e pela qualidade, é um problema para a produção agrícola: uma possível solução e mitigação do problema seria economizar água usando irrigação com déficit e/ou com água salina sem prejudicar o desenvolvimento da cultura. Sabe-se que tanto a irrigação com déficit, quanto o uso de água salina resultam em estresses que podem afetar diversos processos bioquímicos e fisiológicos essenciais, uma vez que comprometem o funcionamento celular. No entanto, a literatura mostra que os efeitos isolados e principalmente combinados desses estresses ainda carece de estudos, particularmente sobre a cultura do algodão. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da quantidade (excesso ou déficit hídrico) e da qualidade (concentração de sais) da água de irrigação sob o crescimento, e trocas gasosas do algodoeiro. Como estratégia experimental foram usadas três lâminas de irrigação (70, 100 e 130% da capacidade de campo) e quatro níveis de salinidade (0,5; 2,5; 5,0; 7,5 ds m<sup>-1</sup>), com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais, dispostos em esquema fatorial (3×4) e delineamento inteiramente casualizado. O material vegetal utilizado foi o algodoeiro cultivar Fiber max 910, semeado em solo e húmus (2:1). As variáveis analisadas foram condutividade elétrica do solo, crescimento (alocação de biomassa, altura das plantas, diâmetro de caule, número de folhas por planta e área foliar), medidas de potencial hídrico e trocas gasosas. O crescimento e a produção de biomassa das plantas foram acentuadamente reduzidos pelas condições de déficit hídrico e da salinidade do solo. Os estresses influenciaram de maneira isolada a emissão foliar, diâmetro do caule, área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar e biomassa de capulhos. Os efeitos da interação entre os estresses foram sentidos na produção de biomassa seca de folhas, caule, flores e total. A biomassa de raízes não mostrou alterações em ambos estresses. O grau de estresse hídrico foi capaz de acentuar a susceptibilidade à salinidade e as plantas qualificam-se, em termos gerais, como moderadamente tolerantes aos efeitos decorrentes da salinidade e quando associadas a uma lâmina excessiva o algodoeiro foi classificado como tolerante a todos os níveis de salinidade. A fotossíntese e a transpiração foram influenciados significativamente pela interação das lâminas de irrigação, salinidade e as épocas de avaliação. A gs foi reduzida por ambos estresses isolados. Com isso, verifica-se que o déficit hídrico assim como o estresse salino tiveram pouco efeito sobre as trocas gasosas do algodoeiro reduzindo levemente a condutância estomática, o que não foi suficiente para reduzir a taxa de fotossíntese líquida.

**Palavras-chave:** Estresses múltiplos, água salina, fisiologia do algodoeiro

### ABSTRACT

Limiting water as an input by quantity and quality is a problem for agricultural production: a possible solution and mitigation of the problem would be to save water by using deficit irrigation and / or salt water without damaging crop development. It is known that both deficit irrigation and saltwater use result in stresses that can affect several essential biochemical and physiological processes, since they compromise cellular functioning. However, the literature shows that the isolated and mainly combined effects of these stresses still lack studies, particularly on cotton cultivation. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of quantity (water excess or deficit) and quality (salt concentration) of irrigation water under growth, and cotton gas exchange. Three irrigation slides (70, 100 and 130% of field capacity) and four salinity levels (0.5, 2.5, 5.0, 7.5 ds m<sup>-1</sup>) were used as experimental strategy, with five Repetitions, totaling 60 experimental units, arranged in a factorial scheme (3 × 4) and completely randomized design. The plant material used was cotton cultivar Fiber max 910, sown in soil and humus (2: 1). The variables analyzed were soil electrical conductivity, growth (biomass allocation, plant height, stem diameter, number of leaves per plant and leaf area), water potential measurements and gas exchange. Plant biomass growth and biomass production was markedly reduced by water deficit and soil salinity conditions. The stresses influenced in an isolated manner the leaf emission, stem diameter, leaf area, specific leaf area, foliar weight ratio and biomass of beetles. The effects of the interaction between the stresses were felt in the dry biomass production of leaves, stem, flowers and total. Root biomass did not show changes in both stresses. The degree of water stress was able to accentuate the susceptibility to salinity and the plants are generally qualified as moderately tolerant to the effects of salinity and when associated with an excessive blade the cotton was classified as tolerant to all levels of salinity. Photosynthesis and transpiration were significantly influenced by the interaction of irrigation slides, salinity and evaluation periods. The  $g_s$  was reduced by both isolated stresses. Thus, the water deficit as well as the salt stress had little effect on the cotton gas exchange, reducing the stomatal conductance slightly, which was not enough to reduce the rate of liquid photosynthesis.

**Key words:** Multiple stresses, saline water, cotton physiology

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	-Médias de umidade relativa e temperatura do ar na casa de vegetação durante o experimento com algodoeiro cultivar Fiber Max 910.....	44
Figura 2.2	- Plantas de algodão ( <i>Gossypium hirsutum</i> ) submetidas a condições bem irrigadas (controle), com suspensão de irrigação por 11 dias (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação) .....	46
Figura 2.3	- Produção de biomassa, conteúdo relativo de água, vazamento de eletrólitos e peroxidização de lipídios, em plantas de algodão, bem irrigadas (controle), com suspensão de irrigação por 11 dias (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação).....	47
Figura 2.4	Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e pressão parcial de CO <sub>2</sub> em plantas de algodão, bem irrigadas (controle), com suspensão de irrigação por 11 dias (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação). .....	49
Figura 2.5	Correlação entre a condutância estomática e a taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> em plantas de algodão bem irrigadas (controle), submetidas à suspensão de irrigação por 15 dias consecutivos (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação).....	50
Figura 2.6	Taxa de transporte de elétrons, eficiência quântica efetiva do fotossistema II , eficiência quântica potencial do fotossistema II e quenching não fotoquímico em plantas de algodão bem irrigadas (controle), submetidas à suspensão de irrigação por 15 dias consecutivos (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação).....	52
Figura 2.7	Relação ETR/PN em plantas de algodão bem irrigadas (controle), submetidas à suspensão de irrigação por 15 dias consecutivos (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação).....	53
Figura 3.1	Médias de temperatura do ar, luminosidade e umidade relativa na casa de vegetação durante o experimento com algodoeiro cultivar Fiber Max 910.....	65
Figura 3.2	Área foliar e área foliar específica do algodoeiro do algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.....	81
Figura 3.3	Razão de peso foliar do algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.....	85
Figura 3.4	Matéria seca de folhas, matéria seca de caule e matéria seca total de plantas de algodão submetidos aos efeitos isolados e combinados de lâmina de irrigação excessiva e deficitária e irrigação com diferentes concentrações de sais na água.....	87
Figura 3.5	Produção de biomassa seca de capulhos, e produção de biomassa de raízes pelo algodoeiro em função da concentração de sais na água de irrigação.....	88
Figura 4.1	Potencial hídrico, condutância estomática e eficiência instantânea do uso da água do algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.....	108

Figura 4.2 - Fotossíntese, Transpiração e Eficiência instantânea do uso dá água de algodoeiro submetido a lâminas de irrigação de 70, 100 e 130% da demanda hídrica da cultura, combinadas com diferente concentração de sais (0,5, 2,5, 5,0 e 7,5 dS m<sup>-1</sup>) ao longo do tempo de condução do experimento (15, 30 e 45 dias de aplicação dos tratamentos..... 111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Composição química da mistura (solo/húmus) (2:1) utilizado no cultivo do algodoeiro. UFC, 2016.....	66
Tabela 3.2	Parcelamento e recomendação de macronutrientes para o algodoeiro herbáceo irrigado pelo Manual de recomendação de adubação do estado do Ceará, (1992). E adubação de micronutrientes.....	66
Tabela 3.3	Lâmina de irrigação total aplicada durante a condução do experimento.....	68
Tabela 3.4	Classificação de genótipos quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção de matéria seca da planta.....	70
Tabela 3.5	Resumo da análise de variância. Quadrados médios de condutividade elétrica do solo submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina.....	71
Tabela 3.6	Condutividade elétrica do solo irrigado com lâminas de irrigação excessiva e deficitária no algodoeiro sob diferentes concentrações de sais da água de irrigação e modelos de ajuste matemáticos de regressão linear e coeficiente de determinação para a condutividade elétrica do solo.....	72
Tabela 3.7	Resumo da análise de variância. Quadrados médios para altura, diâmetro caulinar e número de folhas do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação aos 3, 10, 17, 24, 31, 38 e 45 dias de aplicação dos tratamentos.....	73
Tabela 3.8	Altura de planta, diâmetro do caule, e número de folhas de algodoeiro submetido aos efeitos isolados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária.....	74
Tabela 3.9	Regressões e coeficiente de determinação para altura, diâmetro caulinar e número de folhas de algodoeiro irrigado com lâminas de irrigação excessiva e deficitária (70, 100 e 130% da DHC) sob diferentes concentrações de sais da água de irrigação e ao longo dos dias de aplicação dos tratamentos (DAT).....	78
Tabela 3.10	Resumo da análise de variância. Quadrados médios de área foliar, área foliar específica e razão de peso foliar de algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação.....	79
Tabela 3.11	Área foliar, área foliar específica, e razão de peso foliar do algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária.....	80
Tabela 3.12	Resumo da análise de variância. Quadrados médios de matéria seca do caule, matéria seca de capulhos, matéria seca de folhas, matéria seca de raiz, matéria seca de flores, matéria seca total, e razão matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes de plantas de algodão submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação.....	84

Tabela 3.13	Matéria seca de capulhos, matéria seca de raízes e razão matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes de algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária.....	86
Tabela 3.14	Índices de tolerância a salinidade baseados na redução percentual da altura da planta, Diâmetro caulinar, número de folhas, área foliar e matéria seca total e classificados por Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010). Em algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas excessivas e deficitárias e diferentes concentrações de água salina.....	90
Tabela 4.1	Quadrados médios para Potencial hídrico ( $\Psi_{w_{pd}}$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de $CO_2$ ( $C_i$ ), transpiração ( $E$ ) eficiência instantânea do uso da água ( $E_{iUA}$ ), eficiência intrínseca do uso da água ( $E_{UAi}$ ) de plantas de algodão submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina.....	104
Tabela 4.2	Potencial hídrico, fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de $CO_2$ , transpiração, eficiência instantânea do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água de algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária.....	104

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.0</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>21</b>
	<b>CAPITULO I - REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
<b>1.0</b>	<b>A CULTURA.....</b>	<b>23</b>
<b>2.0</b>	<b>ESTRESSES MÚLTIPLOS.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Salinidade e seus efeitos nas culturas.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Déficit hídrico e seus efeitos nas culturas.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>
	<b>CAPITULO II - CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FOTOSSINTÉTICAS EM ALGODOEIRO SUBMETIDAS A SUSPENSÃO DE REGA E RECUPERAÇÃO DE SECA.....</b>	<b>38</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>39</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>40</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1</b>	<b>Medidas de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila <i>a</i>.....</b>	<b>44</b>
<b>2.2</b>	<b>Quantificação do grau de estresse.....</b>	<b>45</b>
<b>2.3</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>45</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>CAPITULO III - CRESCIMENTO E TOLERÂNCIA DO ALGODOEIRO AOS EFEITOS ISOLADOS E COMBINADOS DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EXCESSIVA E DEFICITÁRIA SOB ESTRESSE SALINO.....</b>	<b>59</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>60</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>61</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>64</b>
<b>2.1</b>	<b>Localização e caracterização da área experimental.....</b>	<b>64</b>
<b>2.2</b>	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>65</b>
<b>2.3</b>	<b>Preparo de solo.....</b>	<b>66</b>
<b>2.4</b>	<b>Material vegetal.....</b>	<b>67</b>
<b>2.5</b>	<b>Manejo da irrigação.....</b>	<b>67</b>
<b>2.6</b>	<b>Variáveis Analisadas.....</b>	<b>68</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Altura de plantas, diâmetro de caule e número de folhas.....</b>	<b>68</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Área foliar e Área foliar específica.....</b>	<b>69</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Produção e alocação de biomassa.....</b>	<b>69</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Índices de tolerância à salinidade.....</b>	<b>69</b>
<b>2.6.5</b>	<b>Condutividade elétrica do solo.....</b>	<b>70</b>
<b>2.7</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>70</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>3.1</b>	<b>Condutividade elétrica do solo.....</b>	<b>71</b>
<b>3.2</b>	<b>Altura de plantas, diâmetro caulinar e número de folhas.....</b>	<b>72</b>
<b>3.3</b>	<b>Área foliar e área foliar específica.....</b>	<b>79</b>

3.4	Produção de matéria seca.....	82
3.5	Índice de tolerância a salinidade.....	89
4	CONCLUSÕES .....	91
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
	<b>CAPITULO IV – TROCAS GASOSAS EM ALGODOEIRO, SUBMETIDO AOS EFEITOS ISOLADOS E COMBINADOS DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EXCESSIVA E DEFICITÁRIA E DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SAIS NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.....</b>	96
	RESUMO.....	97
	ABSTRACT.....	98
1	INTRODUÇÃO.....	99
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	101
2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	101
2.2	Delineamento experimental.....	101
2.3	Material vegetal.....	101
2.4	Preparação do solo.....	101
2.5	Manejo da irrigação.....	101
2.6	Variáveis Analisadas.....	102
2.6.1	Trocas gasosas foliares.....	102
2.6.2	Potencial hídrico.....	102
2.7	Análise estatística.....	102
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
4	CONCLUSÕES.....	114
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

## 1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A história do cultivo de algodão no Nordeste e especialmente no Ceará se confunde com a própria história da região. O crescimento de muitas cidades do sertão nordestino está diretamente relacionado com a produção de algodão, que alcançou o auge na década de 1970. O plantio, colheita, comercialização e beneficiamento do conhecido “ouro branco”, trouxe riqueza para indústrias, além de ocupação e renda para os trabalhadores rurais (PORTAL DO ALGODÃO, 2015).

O Ceará, cuja área plantada de algodão hoje soma apenas 20 mil hectares (ha), já teve 1,2 milhão de ha plantados com a fibra. Isso, em pleno ciclo do “ouro branco”, na década de 70. Nesse período, o nosso país, em especial a região Nordeste, vivia e respirava algodão, o chamado “Ouro Branco”, tinha mais de 12% da área plantada do mundo. A partir da segunda metade dos anos de 1980, o quadro sofreu profundas modificações. A chegada do bicudo (*Anthonomus grandis*), uma praga que destruiu as lavouras de algodão, a queda do preço do produto no mercado internacional e as modificações no sistema de financiamento do crédito rural para a cultura do algodão contribuíram para a drástica redução produtiva no Nordeste (ETENE, 2015; DIÁRIO DO NORDESTE, 2012; BELTRÃO, 2003).

Segundo a ETENE (Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste) em estudo de conjuntura econômica (Documento 32), o cultivo de algodão no semiárido nordestino proporciona, na maioria dos casos, maior viabilidade econômica em comparação com o cultivo no Cerrado. Sobre a cadeia produtiva do algodão no semiárido, o panorama atual comprova a sua viabilidade econômica, apesar de não possuir a mesma escala de produção. O produto é uma das poucas *commodities* adequadas ao ecossistema da região, com possibilidade de ser explorada de forma ecologicamente sustentável. Isso porque em virtude das características climáticas na região semiárida são produzidas fibras de ótima qualidade, obtendo excelentes produtividades em áreas irrigadas. (BRITO *et al.*, 2011). Nesse sentido, é essencial o aperfeiçoamento nos estudos de manejo de irrigação do algodoeiro no intuito de aumentar a produtividade dessa cultura, melhorar a qualidade da fibra e maior eficiência de uso de água pela cultura (ZONTA *et al.*, 2015).

Quando se trata de produção de algodão em regiões semiáridas é necessário lembrar que nessas regiões são potenciais fonte de alguns estresses abióticos, tais como: seca, salinidade, elevada radiação solar e temperaturas altas (CAVALCANTI *et al.*, 2004; MITLER, 2006). Esses estresses, isolados e principalmente combinados, podem afetar

diversos processos bioquímicos e fisiológicos essenciais que comprometem o funcionamento celular (KREPS *et al.*, 2002; RIZHSKY *et al.*, 2004; MITLER, 2006; KOTAK *et al.*, 2007; KANT *et al.*, 2008), podendo modular processos metabólicos vitais na célula, como a fotossíntese, a nutrição, o status hídrico e provocar distúrbios oxidativos, afetando o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

Um exemplo de estresse combinado nessa região seria devido a limitação de água como insumo, pela quantidade e pela qualidade. E uma estratégia para se produzir seria a atualização de águas de má qualidade, de natureza salina na irrigação dessas culturas de forma racional.

Algumas estratégias podem ser usadas para minimizar os impactos negativos do aproveitamento de água salina na irrigação, entre elas: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de diversas outras práticas visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (LACERDA *et al.*, 2009).

Outra recomendação para evitar a salinização do solo é uma irrigação que contempla uma lâmina de lixiviação para a lavagem dos sais presentes no solo. Entretanto, a escassez de recursos hídricos associada ao incremento das áreas irrigadas, tem fomentado em algumas regiões a utilização de sistemas e manejos de irrigação que aumentem a eficiência do uso da água, através da irrigação com déficit.

A técnica da irrigação deficitária consiste na aplicação de lâminas inferiores às necessidades hídricas da cultura, afetando assim, a evapotranspiração e a produtividade, entretanto, a redução da produtividade deve ser mínima ao ponto de manter o retorno econômico da cultura irrigada (KANG *et al.*, 2000). Os impactos da irrigação deficitária sobre a produtividade e suas relações com os resultados econômicos podem ou não ser negativos, dependendo do manejo da irrigação adotado, do desempenho do sistema e os custos de produção (LORITE *et al.*, 2007).

Deve se levar em consideração que o suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências recíprocas entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos.

No atual quadro de limitação de água como insumo, pela quantidade e pela qualidade, surgem vários questionamentos: Como os estresses de déficit hídrico e salinidade, isolados e combinados afetam o desenvolvimento do algodoeiro? Como aplicar um déficit de irrigação com água salina em algodoeiro visando a otimização do recurso água, uma vez que é recomendada trabalhar com lâminas para lixiviação? Responder esses questionamentos é importante na geração de conhecimento sobre a fisiologia do algodoeiro, bem como sobre a viabilidade, ou não de irrigação com déficit utilizando concentrações de águas salinas. Assim esse trabalho tem como objetivo:

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os efeitos da quantidade (excesso ou déficit hídrico) e da qualidade (concentração de sais) da água de irrigação sobre a fisiologia do algodoeiro cultivar fiber max 910.

### **2.2 Objetivos específicos**

- I. Avaliar a inter-relação entre a dinâmica da condição hídrica da planta com as principais respostas fotossintéticas induzidas pela seca e pela sua recuperação em plantas de algodão.
- II. Avaliar o crescimento e a tolerância do algodoeiro à salinidade submetido a efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação.
- III. Avaliar as trocas gasosas do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária sob estresse salino.

## **3.0 HIPÓTESES**

O desenvolvimento do algodoeiro em resposta à irrigação com déficit e o excesso hídrico é dependente da concentração de sais da água de irrigação;

## **CAPITULO I - REVISÃO DE LITERATURA**

## 1. A CULTURA

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum L.*) 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, e óleo que serve para alimentação humana e para a produção de energia (biodiesel) (BELTRÃO, 2008).

Estima-se que a domesticação do algodoeiro ocorreu há mais de 4.000 anos no sul da Arábia e as primeiras referências históricas ao algodão estão no Código de Manu, do século VII a.C., considerado a legislação mais antiga da Índia. Os Incas, no Peru, e outras civilizações antigas, já utilizavam o algodão em 4.500 a.C. Os escritos antigos, de antes da Era Cristã, apontavam que as Índias eram a principal região de cultura e que o Egito, o Sudão e toda a Ásia Menor já utilizavam o algodão como produto de primeira necessidade (AMPA, 2015; BORÉM; FREIRE, 2014).

A partir do segundo século da Era Cristã, o algodão se tornou conhecido na Europa, introduzido pelos árabes. Foram eles os primeiros a fabricarem tecidos e papéis com essa fibra. A Europa começou a usar regularmente o algodão na época das Cruzadas e no século XVIII; com o desenvolvimento de novas máquinas de fiação, a tecelagem passou a dominar o mercado mundial de fios e tecidos (AMPA, 2015).

No Brasil, os índios já conheciam o algodão e dominavam o seu plantio desde antes do descobrimento, sendo capazes de colher, fiar, tecer e tingir tecidos feitos com suas fibras. Eles convertiam o algodão em fios para a utilização na confecção de redes e cobertores, aproveitavam a planta na alimentação e usavam suas folhas na cura de feridas (AMPA, 2015).

O Brasil já foi grande produtor e exportador de algodão, chegando à posição de 5º produtor mundial nas décadas de 1960 e 1970, e de 5º exportador de pluma, colocando no mercado internacional mais de 420.000 T de pluma, no ano de 1969. Nesse período, o nosso país, em especial a região Nordeste, vivia e respirava algodão, o chamado “Ouro Branco”, tinha mais de 12% da área plantada do mundo (BELTRÃO, 2003).

No entanto, em meados da década de 80, a eliminação precoce das tarifas alfandegárias usadas nas importações de algodão em pluma, com a propagação do bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman) como praga do algodoeiro, acelerou a crise ocorrida na

produção de algodão no Brasil, levando o país à posição de grande importador, chegando a ser o segundo maior importador mundial de pluma de algodão (SANTOS *et al.*, 2008).

Embora tenha havido esse declínio, atualmente, a cotonicultura tem se mostrado como uma das atividades agrícolas de maior importância econômica para o agronegócio brasileiro, sendo o algodoeiro cultivado em mais de quinze estados, principalmente o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.). Tal fato deve-se ao crescimento e ao desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de aumentar a eficiência produtiva, com destaque, para os estudos envolvendo a fisiologia das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2012; CHITARRA, 2014).

O Brasil, atualmente, ocupa a 4ª colocação no “ranking” de países exportadores e o 5ª produtor, apresentando uma área de produção de quase 1,4 milhão de hectares e produção de 1,96 milhão de toneladas em pluma na safra 2010/2011. Porém nos anos de 2012/2013 houve uma queda de 37% em área plantada em relação à temporada de 2011/2012, caindo de 1,4 milhões hectares para 870 mil hectares na atual safra.

Os estados que mais produzem algodão são o Mato Grosso e Bahia que são responsáveis por 83,2% da lavoura brasileira de algodão, sendo o estado baiano o segundo produtor nacional (REETZ *et al.*, 2013), com destaque para a região oeste do Estado, que abrange mais de 90% da produção.

Dentre os fatores que influenciam a aceitação da fibra no mercado externo é sua qualidade. Nesse sentido, estão cada vez mais rigorosas as avaliações de qualidade destacam-se nos laboratórios. Em virtude da grande participação econômica, bem como as exigências do mercado externo quanto à qualidade da fibra, os produtores de algodão estão cada vez mais atentos a essas exigências. Uma das maiores exigências é a melhoria na produção da pluma, sem causar danos na produtividade. Contudo, é desnecessária uma genética de qualidade, sem que o ambiente não seja favorável para a sua exploração, sendo portanto essencial conhecer os fatores que interferem na qualidade da fibra (BONIFÁCIO *et al.*, 2015).

Em virtude das características inferiores das fibras, houve um abandono na produção industrial têxtil de algodão de fibra colorida, sendo utilizado apenas como planta ornamental e na confecção de artesanatos em alguns estados, como Bahia e Minas Gerais. Hoje em dia, por meio de programas de melhoramento genético da EMBRAPA têm aparecido diversas variedades de fibra colorida com qualidade semelhante ou superior às de fibra de algodão branco (DANIEL *et al.*, 2011).

Em relação às características inerentes da espécie, as plantas de algodão são plantas superiores e apresentam várias particularidades, tais como: fisiologia e morfologia complexa, elevada plasticidade fenotípica e crescimento alométrico primoroso entre as partes aéreas e sistema radicular. A cultura apresenta meios de se proteger dos estresses ambientais, abióticos ou bióticos, criados a partir de componentes da biocenose. O crescimento dessa cultura é irreversível, bem como a sua fitomassa, havendo assim, uma competição por fotoassimilados, tanto pela parte vegetativa quanto pela parte reprodutiva, ou seja, há uma relação constante entre as razões de crescimento das diferentes partes da planta e o seu desenvolvimento (CHRISTIANSON *et al.*, 2010).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) apresenta metabolismo fotossintético C3, e ao longo do crescimento, seus órgãos vegetativos competem com os órgãos reprodutivos pelos fotoassimilados (BELTRÃO *et al.*, 2008). É muito sensível aos estresses anoxítico e hipoxícticos (ausência ou deficiência de oxigênio no ambiente edáfico), apresenta ajustamento osmótico, além de outros mecanismos fisiológicos e bioquímicos, para resistência à seca. Além dessas peculiaridades, o crescimento do algodoeiro é complexo e muito sensível às condições ambientais desfavoráveis, como: temperaturas noturnas altas, sendo esse fator um dos principais redutores da produtividade do algodão. Este comportamento ocorre em virtude do efeito negativo na respiração e acumulação de carboidratos nas plantas (SILVA *et al.*, 2011).

## 2. ESTRESSES MÚLTIPLOS

Em condições naturais e de cultivo, as plantas são expostas a uma combinação variada de diversos fatores abióticos, os quais interagem fortemente, resultando em uma combinação múltipla de fatores adversos (LIMA, 2009; SILVA, 2008). Esses estresses sejam isolados sejam combinados, podem afetar diversos processos bioquímicos e fisiológicos essenciais comprometendo o funcionamento celular (KREPS *et al.*, 2002; RIZHSKY *et al.*, 2004; MITLER, 2006; KOTAK *et al.*, 2007; KANT *et al.*, 2008), e podendo modular processos metabólicos vitais na célula, como a fotossíntese, a nutrição e o status hídrico, e provocar distúrbios oxidativos, afetando o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

Nas regiões áridas e semiáridas, um dos principais entraves a produção agrícola é o processo de salinização em solos agricultáveis, constituindo um problema de abrangência social, ecológica e ambiental (SILVA *et al.*, 2013). Adicionalmente, nessas

regiões, ocorre ainda regularmente déficit de água no solo, decorrente do próprio regime pluviométrico predominante na região Nordeste do Brasil, caracterizado pela insuficiência e pela irregularidade das precipitações naturais no tempo e no espaço (GARCIA *et al.*, 2007).

As respostas dos vegetais frente à multiplicidade de estresses abióticos não representam simplesmente um somatório resultante do padrão comum de resposta obtido através do fator estressante de forma isolada (LIMA, 2009; SILVA, 2008). De acordo com Syvertsen e Garcia-Sanchez (2014), as respostas e as adaptações às interações da salinidade com quaisquer outros estresses ambientais subjacentes só podem ser estudadas em ambientes controlados, onde as variações individuais dos níveis dos fatores estressantes e suas devidas interações bidirecionais simples podem ser manejadas e descritas. Nesse sentido, estudos dessa natureza proporcionam o entendimento de uma série de respostas ecofisiológicas, gerando informações básicas que poderão auxiliar na tomada de decisões por parte da escolha adequada da cultura a ser explorada sob tais condições estressantes, contribuindo para o desenvolvimento de um manejo técnico cada vez mais eficiente em ambientes salinos, reintegrando as áreas afetadas por sais aos processos produtivos através de programas de revegetação com espécies de relevância social e econômica.

## **2.1 Salinidade e seus efeitos nas culturas**

As respostas ao estresse salino são largamente variáveis em função da espécie, bem como do genótipo, de tal forma que algumas espécies vegetais apresentam elevada tolerância à salinidade, enquanto outras se mostram altamente vulneráveis aos seus efeitos. As plantas tolerantes ao sal podem ser qualificadas como halófitas (do grego, *halo* = “salgado”), aquelas que se desenvolvem naturalmente em ambientes com elevadas concentrações salinas (tipicamente Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>) e, glicófitas (do grego, *glyco* = “doce”), as menos tolerantes aos sais, que não são capazes de se desenvolver em ambientes com elevadas concentrações salinas (WILLADINO; CÂMARA, 2010). A maior parte das plantas cultivadas de interesse econômico, são glicófitas, salvo algumas poucas exceções (LORENZI, 2008).

Para os vegetais, a salinidade é considerada um dos mais sérios fatores abióticos adversos, e, dentre os seus principais efeitos, tem se constatado que ela desencadeia uma série de danos morfológicos, estruturais e metabólicos, capazes de

limitar, substancialmente, o crescimento e a produção (GARCIA *et al.*, 2007). Cerca de 800 milhões de hectares no mundo são afetados pela salinidade, o que equivale a mais de 6% do total (MUNNS, 2005). No Brasil, estima-se de que 20 a 25% das áreas irrigadas, principalmente, as que estão sob solos aluviais, apresentam problemas de salinidade, em decorrência do inadequado manejo do sistema de produção (FAO, 2008).

Mundialmente, estima-se ainda que, por ano, 10 milhões de hectares de terras irrigadas no globo terrestre são abandonados devido aos problemas de salinização (FAO, 2008). Dentre os Perímetros Irrigados do Estado do Ceará que apresentam graves problemas de salinização, destacam-se: Morada Nova, Curu – Pentecoste e Curu – Paraipaba (AGUIAR NETTO; MACHADO; BARRETO, 2006). Particularmente, no Perímetro Irrigado Morada Nova, o mapeamento realizado por Coelho e Ferreyra (1986), já revelava que os solos sódicos e salino-sódicos ocorriam em 30% da área do Perímetro.

O estresse salino é um dos que mais comprometem o crescimento e a produtividade das culturas em todo o mundo (VEERANAGAMALLAIAH *et al.*, 2007; ISLÃ; ARAGUÉS, 2010). O uso de água com excesso de sais pode limitar a produção agrícola em decorrência do efeito osmótico e as ocorrências de toxicidade iônica e de desequilíbrios nutricionais (efeito indireto) (ASSIS JÚNIOR *et al.*, 2007; KHAN; PANDA, 2008; GOMES *et al.*, 2011).

Os primeiros efeitos causados pelo excesso de sais são de natureza biofísica, se destacando os efeitos osmóticos, restringindo o transporte de água. Em seguida, rapidamente é desencadeada uma sequência de reações moduladas por hormônios, que levam à restrição da abertura estomática e da assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub>. Esses efeitos predominam na primeira fase do estresse salino (“fase osmótica”), que ocorre nos estádios iniciais da exposição das plantas à salinidade ou na presença de níveis moderados de sais em contato com o sistema radicular (SILVEIRA *et al.*, 2010). Os mesmos autores relataram que a “fase osmótica”, na realidade, tratava-se de uma resposta fisiológica, ou seja, de aclimação ao estresse, do que em resposta aos danos sofridos pelo estresse salino propriamente dito. Isso é, muitas vezes, o que comumente se diagnostica como sintomas de efeitos negativos do estresse salino, que são, na realidade, respostas fisiológicas normais das plantas para se superarem ou se aclimatarem àquela situação adversa

À medida que os íons salinos se acumulam em excesso no citosol das células surgem problemas de toxicidade (fase tóxica ou iônica) nas plantas expostas à salinidade (SILVEIRA *et al.*, 2010). Entretanto, as espécies diferem largamente na resistência

protoplasmática ou na resistência do tecido ao estresse salino. Essa capacidade de resistir está ligada principalmente com a intensidade de compartimentação dos íons salinos dentro dos vacúolos e com a manutenção de um balanço  $K^+/Na^+$  favorável no citosol. Atualmente, esse tem sido um dos alvos para a seleção de cultivares resistentes de algumas culturas.

O estresse salino afeta importantes aspectos do metabolismo vegetal, incluindo as homeostases osmótica, iônica, hídrica, a fotossíntese, o crescimento, energia e metabolismo de lipídios e síntese de proteínas (MUNNS E TESTER, 2008; RAMOLIYA *et al.*, 2004). O fechamento estomático é uma das respostas mais rápidas e intensas que ocorrem em plantas submetidas à salinidade. Essa resposta estomática é, provavelmente, regulada por vias de sinalização que ocorrem na raiz, apresentando grande similaridade com aquelas associadas à sinalização sob condições de estresse hídrico (DAVIES *et al.*, 2005).

A salinidade afeta negativamente três aspectos da fisiologia da planta. Em primeiro lugar, os efeitos tóxicos de íons específicos, que provocam inibição de síntese de proteínas, e danos as organelas celulares, afeta a estrutura de enzimas, e desacoplamento da fotossíntese e da respiração. Em segundo lugar, também diminui a absorção de nutrientes e/ou o transporte de nutrientes para o local onde ele desenvolvera a sua função, induzindo assim um desequilíbrio de nutrientes na planta (MARSCHNER, 1995; EVELIN *et al.*, 2009; MAATHUIS; AMTMANN, 1999; TESTER; DAVENPORT, 2003). Finalmente, a acumulação de sais no solo reduz os potenciais osmóticos solo e impede a absorção de água pelas raízes, produzindo um déficit hídrico na planta (MUNNS; TESTER, 2008 BRAY *et al.*, 2000; TESTER e DAVENPORT, 2003).

Em resposta à salinidade, muitas plantas acumulam osmólitos compatíveis no citoplasma de suas células, na tentativa de combater o efeito osmótico produzido por esse estresse (MUNNS; TESTER, 2008). Esses solutos compatíveis são importantes para o balanço osmótico e para o metabolismo celular, uma vez que além da função principal no ajustamento osmótico, os solutos compatíveis podem ajudar na estabilização de macromoléculas (osmoprotetores) e proteção contra danos oxidativos sob condições adversas (PÉREZ *et al.*, 2009).

Sob estresse salino, um fator chave na acumulação de solutos em células vacuoladas é a sua compartimentação subcelular, visto que as quantidades excessivas de íons salinos no citoplasma inibem as atividades de muitas enzimas. Assim a

compartimentalização desses íons salinos no vacúolo contribui para o ajustamento osmótico sem afetar os sistemas enzimáticos do citoplasma. Nessas células, o balanço hídrico entre o vacúolo e o citoplasma é mantido pela síntese e acúmulo de compostos orgânicos. Em adição, o acúmulo desses compostos no citoplasma pode proteger as membranas celulares, as proteínas e a maquinaria metabólica, preservando a estrutura subcelular dos danos resultantes da desidratação (SERRAJ; SINCLAIR, 2002).

A fotossíntese, dentre os processos primários, é um dos mais afetados pela salinidade (CHAVES *et al.*, 2009; MUNNS; TESTER, 2008; Silva *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011). Os efeitos podem ser diretos, como a redução do CO<sub>2</sub> disponível causados pela limitação na difusão dos estômatos (FLEXAS *et al.*, 2004; 2007) ou pelas alterações no metabolismo fotossintético (LAWLOR; CORNIC, 2002) ou podem surgir a partir de efeitos secundários, como o estresse oxidativo. Esse tipo de estresse é mais frequente sob condições de estresses múltiplos (CHAVES; OLIVEIRA, 2004) e pode afetar seriamente a maquinaria fotossintética da folha (ORT, 2001). O conteúdo total de clorofila e carotenoides (PARIDA; DAS, 2005), bem como o acúmulo nos cloroplastos dos íons Na<sup>+</sup> e/ou Cl<sup>-</sup>, que afetam desfavoravelmente os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese, assim como decréscimos na atividade da ribulose biscofosfato carboxilase/oxigenase são alguns dos processos afetados pela salinidade (TAIZ; ZEIGHER, 2009).

O algodoeiro é uma cultura considerada tolerante a salinidade, com uma salinidade limiar da água de 5,1 dS m<sup>-1</sup> e do solo de 7,7 dS m<sup>-1</sup> (AYERS; WESTCOT, 1999). Nesse contexto, a cultura se sobressai como uma das espécies capazes de produzir em concentrações de sais solúveis bem acima da suportada pela maioria das plantas cultivadas (PEREIRA, 2012), sendo assim, de grande importância para o semiárido brasileiro.

Cavalcante *et al.* (2005) observaram que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação estimulou o crescimento em altura das plantas de algodoeiro até o nível de 4,2 dS m<sup>-1</sup>, com altura média máxima de 36,1 cm. A partir desse valor, constatou-se inibição do crescimento das plantas. A biomassa da parte aérea aumentou com a elevação da condutividade elétrica da água até 2,1 dS m<sup>-1</sup> referente ao maior valor médio de biomassa, equivalente a 32,0 g planta<sup>-1</sup>. A irrigação com água de conteúdos salinos superiores a 2,1 dS m<sup>-1</sup> resultou em perdas progressivas dos respectivos genótipos em produzirem biomassa da parte aérea.

Gheyi *et al.* (2008) e Oliveira *et al.* (2008) também comprovaram os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento inicial do algodoeiro. Na mesma cultura, Lima (2007) constatou ainda decréscimo do índice de velocidade de germinação com o aumento da concentração salina.

Em estudo realizado por Oliveira *et al.* (2012), verificou-se efeito deletério da salinidade sobre a produção de algodão em caroço a partir de 3,5 dS m<sup>-1</sup>. A perda de produtividade entre a salinidade de 0,5 e 3,5 dS m<sup>-1</sup> foi na ordem de 12,62%, enquanto que comparando-se a produtividade obtida na salinidade de 6,5 dS m<sup>-1</sup>, com a obtida na salinidade de 3,5 dS m<sup>-1</sup>, a redução foi de 52,23%. No algodoeiro colorido BRS Verde, Junior *et al.* (2005) concluíram que águas de condutividade elétrica de 4,06 dS m<sup>-1</sup> proporcionaram 90% de rendimento relativo.

## 2.2 Déficit hídrico e seus efeitos nas culturas

A água constitui uma das mais importantes substâncias para os processos vitais. Para os vegetais, uma singular importância é atribuída à água, pois o protoplasma das plantas chega a alcançar 95% ou mais de seu peso total, onde participa de processos metabólicos, como a fotossíntese e a fosforilação oxidativa, por exemplo. Sendo a água considerada um solvente universal, possibilita a maioria das reações químicas a nível celular e nas plantas ainda assumem a primordial missão de desencadear o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Desta forma, considera-se que a água é essencial para a produtividade dos vegetais e o desenvolvimento dos mesmos é afetado de maneira bastante significativa pela disponibilidade hídrica, tanto pela sua falta ou excesso (REICHARDT; TIMM, 2004).

A necessidade de água das culturas deve ser atendida pela água no solo, por meio da absorção do sistema radicular. Quando as exigências hídricas da cultura não são atendidas em sua totalidade, as plantas são submetidas a uma condição de déficit hídrico que se desenvolve até um limite que afeta o crescimento e o rendimento da cultura, sendo que a intensidade do efeito do déficit hídrico é variável com a espécie e seu estágio de desenvolvimento (DOORENBOS; KASSAM, 1994, CHAVES *et al.*, 2009).

Segundo Casierra-Posada e Roa (2006), o termo déficit hídrico define um conceito essencialmente ecofisiológico e relaciona-se com a limitação da água nos tecidos, o que pode ser considerado quase sinônimo de estresse hídrico, pois esse se refere

a quaisquer limitações de operação ideal da planta, impostas pela pouca disponibilidade de água.

A fotossíntese é o primeiro alvo fisiológico de estresses ambientais, como o déficit hídrico (MUNNS e TESTER, 2008; LIU e HUANG, 2008; CHAVES *et al.* 2009). Esta por sua vez, induz muitas respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares em que a fotossíntese é bastante afetada. Respostas fotossintéticas ao déficit hídrico são influenciados pela intensidade, duração e taxa de progressão do estresse. Esses fatores que determinarão se os processos de mitigação associadas a aclimação serão iniciado (CHAVES *et al.*, 2009).

Sob condições ambientais naturais, a ocorrência de déficit hídrico pode inibir a fixação de carbono fotossintético, limitando tanto o metabolismo (limitação não estomática); (ORTIZ-LOPEZ *et al* 1991, JIA *et al* 2008.) Quanto a entrada de CO<sub>2</sub> na folha (limitação estomática); (CORNIC, 1994). Sob condições moderadas de estresse hídrico, a diminuição da fotossíntese ocorre principalmente devido ao fechamento estomático, e com a progressão da intensidade do estresse, alterações bioquímicas podem comprometer diretamente a eficiência da fixação do CO<sub>2</sub> (CHAVES *et al.*, 2009). Além disso estresse por seca é normalmente caracterizado por perda de clorofila (SILVA *et al.*, 2014).

A limitação estomática é causada pela redução nos valores de condutância estomática, afetando o processo de trocas gasosas e restringindo o influxo de CO<sub>2</sub> atmosférico para o sítio de carboxilação no mesófilo foliar (LAWLOR; CORNIC, 2002). Como consequência a assimilação líquida do CO<sub>2</sub> diminui, podendo resultar em significativo aumento da relação NADPH/NADP<sup>+</sup>, como resultado da redução de atividade do ciclo de Calvin (FOYER; NOCTOR, 2000). Nessas condições, a atividade fotorrespiratória é intensificada, ocorrendo principalmente em espécies de metabolismo C<sub>3</sub>, o qual ocorre aparentemente para dissipar o excesso de poder redutor e de energia proveniente da fase fotoquímica da fotossíntese (FOYER; NOCTOR, 2000; FOYER *et al.*, 2009).

A redução do conteúdo de água dos tecidos induz uma redução no transporte de elétrons, na fotofosforilação e na síntese de ATP, conseqüentemente diminuindo a capacidade de regeneração da Ribulose-1,5-Bifosfato (RuBP) (PIMENTEL, 2004). Lawlor e Cornic (2002) confirmaram essa redução na síntese de ATP, mesmo em estresses moderados, no entanto, eles sugerem não ser esse um fator limitante à fixação do CO<sub>2</sub>. Há relatos também de que, sob estresses abióticos, há uma diminuição da

quantidade e atividade da Rubisco (PARRY *et al.*, 2002), um motivo a mais para uma redução na fixação (YORDANOV *et al.*, 2003; BOTA *et al.*, 2004). O estresse hídrico, quando associado a uma alta radiação luminosa causa a degradação de proteínas importantes ao fotossistema II (PSII), no entanto, em condições medianas de estresse, o PSII é preservado (YORDANOV *et al.*, 2003). GHANNOUM *et al.* (2003), sugerem que a menor sensibilidade da atividade do PSII pode ser devida ao desvio de elétrons da cadeia de transporte para as reações de Mehler, cuja atividade é aumentada sob déficit hídrico (CHAVES *et al.*, 2009) e pela maior atividade fotorrespiratória sob seca (FOYER *et al.*, 2009), que consome ATP e NADPH<sub>2</sub>.

Em suma a redução da absorção de água e conseqüentemente de nutrientes do solo, associada à intensa restrição fotossintética, são alguns dos impactos negativos do estresse hídrico no metabolismo vegetal, que resulta na redução da produtividade agrícola de várias espécies de importância econômica no mundo todo (CATTIVELLI *et al.*, 2008), tendo um impacto global sobre o ganho de carbono (BUERMANN *et al.*, 2007).

O algodão apresenta elevada resistência ao déficit hídrico. Yeates *et al.* (2010) demonstram recentemente que uma depleção de >40% de água disponível foi usada para o algodão irrigado na Austrália, e que a planta não apresentou diminuição significativa na produtividade, comparada com plantas que não tiveram redução da água disponível.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR NETTO, A. de O.; MACHADO, R.; BARRETO, M.C. de. Diagnóstico do processo de salino – sodificação no Perímetro Irrigado Jabiberi – SE. Irriga, v. 11, p. 448 – 459, 2006.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- BELTRÃO, N. E. M. **Breve História do Algodão no Nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003a. 17p. (Documentos, 117).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- 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**. 2. ed. v. 1. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 61-110.
- BORÉM, A. FREIRE, E.C. **Algodão: do plantio a colheita**. Minas Gerais: UFV, 2014, 312p
- CASIERRA-POSADA, F.; ROA, H.A. Efecto del déficit hídrico moderado en el suelo CAVALCANTE, I. H. L; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; BECKMANN, M. Z.; CAMPOS, M. C. C.; GONDIM, S. C. Crescimento e produção de duas cultivares de algodão irrigadas com águas salinizadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.108-111, 2005.
- CAVALCANTI, F.R.; OLIVEIRA, J.T.A.; MARTINS-MIRANDA, A.S.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G., Superoxide dismutase, catalase and peroxide activities do not conferprotection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. **New Phytologist**, v. 163, p.563–571, 2004.
- CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p. 551-560, 2009.
- CHISTIANSO, J.A.; LLEWELLYN, D.J; DENNIS, E.S.; WILSON, L. A. Global gene expression responses to waterlogging in roots and leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plant Cell Physiology**, v.51, n.1, p. 21-37, 2010.
- CHITARRA, L.G. **Identificação e controle das principais doenças do algodoeiro**. 3ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014.
- CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture: not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, v. 5, p.187–188, 2000.

DANIEL, V. C.; SILVEIRA, R.R.; DA SILVA, F.F.; ZONETTI, P.C. Germinação e crescimento de plântulas de algodão colorido sob condições de estresse salino. **Revista em Agronegócio de Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33). Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 161-179.

FOYER, C.H. e NOCTOR, G. Tansley Review No. 112 Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. **New Phytologist**, v. 146, p. 359-388. 2000.

FOYER, C.H. Free radical processes in plants. **Biochemical Society Transactions**, v. 24, p. 427-434. 1996

FOYER, C.H., BLOOM, A.J., QUEVAL, G., NOCTOR, G. Photorespiratory Metabolism: Genes, Mutants, Energetics, and Redox Signaling. **Annual Review Plant Biology**. v. 60, p. 455-484, 2009.

GARCIA, F. C. de H.; BEZERRA, F. M. L; FREITAS, C. A. S. de. Níveis de irrigação no comportamento produtivo do mamoeiro Formosa na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 02, p. 136-141, 2007.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; FILHO, F. L. A.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.365-370, 2011.

P. D.; BELTRÃO, N. E. M. Germinação, crescimento e produção do Germinação, crescimento e produção do algodoeiro colorido BRS Verde sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.236-241, 2005.

JUNIOR, S. P. S.; SOARES, F. A.L.; SIQUEIRA, E. L. C.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. M. Germinação, crescimento e produção do Germinação, crescimento e produção do algodoeiro colorido BRS Verde sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.236-241, 2005.

KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, v.67, p.207-214, 2000.

KANT, P., GORDON, M., KANT, S., ZOLLA, G., DAVYDOV, O., HEIMER, Y.M., CHALIFA-CASPI, V. SHAKED, R., BARAK, S. Functional-genomics-based identification of genes that regulate Arabidopsis responses to multiple abiotic stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 31, p.697-714, 2008.

KOTAK, S., LARKINDALE, J., LEE, U., KOSKULL-DORING, P.V., VIERLING, E., SCHARF, K.D. Complexity of the heat stress response in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v.10, p.310-316, 2007.

- KREPS, J.A., WU, Y., CHANG, H.S., ZHU, T., WANG, X., HARPER, J.F. Transcriptome changes for Arabidopsis in response to salt osmotic, and cold stress. **Plant Physiology**, v.130, p.2129–2141, 2002.
- LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.02, p.221-230, 2009.
- LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell and Environment**. v.25, p.275–94, 2002.
- LIMA SOUZA, M. W.; CUNHA, R. C.; COSTA, P. A. A.; MOURA, I. N. B. M.; BESERRA, F. M.S.; LIMA, L. A.; PEREIRA, L. A. F.; OLIVEIRA, F. A. Desenvolvimento inicial de milho doce e milho pipoca sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.10, n.3, p 65-72, 2014.
- LIMA, C.S. de. **Mudanças da expressão de proteínas induzidas por estresses isolados e combinados de seca e temperatura elevada em folhas de cajueiro**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1. 368 p.
- LORITE I J.; MATEOS L.; ORGAZ F.; FERERES E. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. **Agricultural Water Management**, v.91, p.51–60, 2007.
- MITTLER, R. Abiotic Stress, the Field Environment and Stress Combination. **Trends Plant Science**. 11, 15-19, 2006.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v.167, n.3, p.645-663, 2005.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol**, v. 59, p. 651–681. 2008.
- OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, A. M. P.; DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F. Irrigação com água salina no crescimento inicial de três cultivares de algodão. **Revista Irriga**, v.13, n.4, p.467- 475. 2008.
- OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. R. A.; FREIRE, A. G.; SOARES, L. C. S. Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 279-287, 2012.

OLIVEIRA, F.A de; MEDEIROS, J.F DE; OLIVEIRA, F.R.A de; OLIVEIRA, M.K.T de; FREIRE, A. G. Sensibilidade do algodoeiro ao cloreto de mepiquat em condições salinas. **Revista ciência agrônômica**. V43, n. 3 p-484-492, 2012.

PARRY, M.A;J.; ANDRALOJC, P.J.; KHAN, S.; LEA, P.J.; KEYS, A.J. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, v. 89, p.833–839, 2002.

PEREIRA, E. R. L. **Tolerância de genótipos do algodão colorido ao estresse salino**. 2012. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

PORTAL DO ALGODÃO. Disponível em [http://www.sincti.com/clientes/ampa/site/qs\\_historia.php](http://www.sincti.com/clientes/ampa/site/qs_historia.php). 05 de agosto de 2015

REETZ, E. R.: KIST, B.B: SANTOS, C.E: CARVALHO, C.; POLL, H. **Anuário Brasileiro do algodão**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, Santa Cruz, 2013. 144p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 188 p., 1990.

RIZHSKY, L., LIANG, H., SHUMAN, J., SHULAEV, V., DAVLETOVA, S., MITTLER, R. When defense pathways collide. The response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress. **Plant Physiology** 134, 1683–1696, 2004.

SANTOS, R. F.; KOURI, J.; SANTOS, J. W. O agronegócio do algodão. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. v. 1 Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 31-60.

SILVA, A. O. da; KLAR, A. E.; SILVA, Ê. F. de F. e; TANAKA, A. A.; JUNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1143-1151, 2013.

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-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 02, p. 240-246, 2009.

SILVA, S.L.F. da. **Mecanismos de proteção oxidativa contra estresses isolados e combinados de seca, salinidade e temperatura elevada em cajueiro**. 2008. 162 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SILVA, E.N. da; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.

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

SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; VITORINO, H. dos S.; RHEIN, A. F. de L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SILVEIRA, J.A.G.; SILVA, S.L.F.; SILVA, E.N.; VIEGAS, R.A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, sobre el crecimiento y distribución de materia seca en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). **Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica**, v. 9, n. 2, p. 169-180.2006.

SYVERTSENA, J.P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, n.1, p. 128 – 137, 2014.

YEATES, S. J.; CONSTABLE, G. A.; MCCUMSTIE, T. Irrigated cotton in the tropical dry season. II. Biomass accumulation, partitioning and RUE. **Field Crops Res**, v. 116, p. 290-299. 2010.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.6, n.11, p. 1 – 23, 2010.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J.R.C; SAFIATTI, V.; FARIAS, F. J.C.; CARVALHO, L. P. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, v. 28, n.4, 43-52, 2015.

**CAPITULO II - CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES  
FOTOSSINTÉTICAS EM ALGODOEIRO SUBMETIDAS A SUSPENSÃO DE  
REGA E RECUPERAÇÃO DE SECA**

## RESUMO

A seca é um fenômeno natural que gera um impacto global sobre o ganho de carbono de espécies agrícolas, como o algodão. Um dos processos primeiramente afetados pela seca é a fotossíntese e apesar de existirem estudos que descrevem esses efeitos, o mecanismo exato de inibição fotossintética ainda é fortemente debatido. Assim sendo, objetivou-se com o presente estudo, estabelecer uma inter-relação entre a dinâmica da condição hídrica da planta com as principais respostas fotossintéticas induzidas pela seca e pela sua recuperação em algodoeiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado (4 repetições). Os tratamentos foram compostos de suspensão de irrigação, plantas bem irrigadas e suspensão de irrigação + recuperação da irrigação que iniciou-se quando as plantas reduziram cerca de 40% da fotossíntese. As variáveis analisadas foram: trocas gasosas ( $P_N$ ,  $g_s$ ,  $E$  e  $C_i$ ), parâmetros de fluorescência da clorofila a ( $ETR$ ,  $\phi PSII$ ,  $F_v/F_m$  e  $NPQ$ ), produção de biomassa, peroxidação de lipídios, vazamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água. A seca reduziu a produção de biomassa,  $CRA$ ,  $P_N$ ,  $g_s$ ,  $C_i$  e  $E$ , que foram recuperados após o retorno da irrigação. Em contrapartida, aumentou o  $NPQ$ . Concluiu-se que uma seca aliada a uma oportuna reidratação pode contribuir para uma compensação na produção de matéria seca. A redução da fotossíntese pela suspensão de rega foi devido a limitações estomáticas, sendo que um dos fatores que mais contribuiriam para o não agravamento dos efeitos da seca foi a dissipação de elétrons por vias não fotoquímicas ( $NPQ$ ).

**Palavras chaves:** *Gossypium hirsutum* L. Trocas gasosas. Florescência da clorofila a.

## ABSTRACT

Drought is a natural phenomenon that creates a global impact on carbon gain of agricultural crops, such as cotton. One of the first processes affected by drought is photosynthesis and although there are studies that describe these effects, the exact mechanism of photosynthetic inhibition is still strongly debated. Therefore, the aim of the present study, establish an interrelationship between the dynamics of plant water status with the main photosynthetic responses induced by drought and recovery in cotton. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design (4 repetitions). The treatments consisted of suspension irrigation and irrigation plants and irrigation suspension + recovery irrigation started when the plants reduced about 40% of photosynthesis. The variables analyzed were: gas exchange (PN, gs, E and C), flowering of the chlorophyll vestments to (ETR  $\phi$ PSII, Fv / Fm and NPQ), biomass production, pexodidação lipid, electrolyte leakage and content relative Water. The dry reduced biomass production, WHC, PN, gels, C and E, which were recovered after returning irrigation. In contrast, increased NPQ. It was concluded that a drought combined with a timely rehydration may contribute to compensation in the production of dry matter. The reduction of photosynthesis by the suspension of irrigation was due to stomatal limitation, and one of the factors that contributed to the not worsening the effects of drought was the dissipation of electrons not photochemical way (NPQ).

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L. Gas exchange. Flowering chlorophyll a.

## 1.0 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das fibras têxteis mais importantes do mundo, sendo cultivado em mais de 32 milhões de hectares em cerca de 80 países (SARANGA *et al.*, 2001; SINGH *et al.*, 2007). No Brasil, essa cultura responde por 5,7% da produção mundial (COSTA *et al.*, 2008). No Nordeste, segundo a ETENE (2012), o cultivo de algodão no semiárido nordestino proporciona, na maioria dos casos, maior viabilidade econômica em comparação com o cultivo no cerrado. O produto é uma das poucas *commodities* adequadas ao ecossistema da região, com possibilidade de ser explorada de forma ecologicamente sustentável. No entanto em regiões semiáridas a cultura está submetida a diversos estresses abióticos, tais como: seca, salinidade, elevada radiação solar e temperaturas altas (CAVALCANTI *et al.*, 2004; MITLER, 2006).

A seca é um dos principais fatores que afeta a produtividade dos ecossistemas agrícolas ou naturais (PASSIOURA 2007; CIAIS *et al.*, 2005). Esse fenômeno gera um impacto global sobre o ganho de carbono (BUERMANN *et al.*, 2007) de diversas espécies (ENGELBRECHT *et al.*, 2007), como na cultura do algodão, podendo resultar em perdas na produtividade e qualidade da fibra (SARANGA *et al.*, 2001; SINGH *et al.*, 2007), tornando-se um grave problema econômico (SARANGA *et al.*, 2001; SINGH *et al.*, 2007).

Dentre os efeitos negativos da seca na fisiologia da planta, estão a progressiva redução do conteúdo relativo de água (CRA), do potencial hídrico (REDDY *et al.* 2004; CHAVES *et al.*, 2009) e, posteriormente, do crescimento. A fotossíntese é afetada direta e indiretamente pela seca (CHAVES *et al.*, 2009; BOYER, 1982; ENNAHLI; EARL, 2005; ZHANG *et al.*, 2011). Os efeitos diretos são decorrentes da diminuição da disponibilidade de CO<sub>2</sub> nos cloroplastos, devido a uma diminuição da abertura estomática e condutância do mesófilo (CHAVES, 1991; CHAVES *et al.* 2002; LAL *et al.*, 1996;; FLEXAS *et al.*, 2004; 2012).

Os efeitos indiretos ou secundários são devidos ao estresse oxidativo, que pode contribuir com a limitação estomática da fotossíntese, podendo afetar seriamente a maquinaria fotossintética da folha, principalmente como resultado da interação entre a seca e luz excessiva ou sob várias condições combinadas de estresse (ORT, 2001; CHAVES; OLIVEIRA 2004; FOYER; NOCTOR, 2009). Na literatura, é mencionado de forma genérica que isso ocorre com potenciais hídricos (ao meio dia) inferiores a -2,0

MPa (ENNAHLI; EARL, 2005) ou condutância estomática menor do que  $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (MEDRANO *et al.*, 2002; ENNAHLI; EARL, 2005).

Apesar de existir muitos relatos que descrevem os efeitos do estresse hídrico sobre a fotossíntese (LOKA *et al.*, 2011), o mecanismo exato de inibição fotossintética é fortemente debatido (FLEXAS; MEDRANO, 2002; LOKA *et al.*, 2011), principalmente porque as respostas à seca podem variar entre espécies e entre cultivares. As respostas fotossintéticas ao estresse hídrico são complexas, envolvendo a interação de diferentes níveis estruturais em diferentes escalas de tempo em relação ao desenvolvimento da planta, sendo influenciados pela intensidade de tensão, duração e taxa de progressão desses fatores, os quais irão determinar se os processos de mitigação associados a aclimatação serão iniciados (CHAVES *et al.*, 2009).

Quanto à recuperação do status hídrico das plantas pouco se sabe sobre os mecanismos desencadeados para recuperar os parâmetros fotossintéticos. Assim sendo, objetivou-se avaliar a inter-relação entre a dinâmica da condição hídrica da planta com as principais respostas fotossintéticas induzidas pela seca e pela sua recuperação em plantas de algodão, aventando-se a hipótese de que uma redução de 40% da fotossíntese pelo déficit hídrico em algodoeiro é de fácil recuperação.

## 2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará-UFC, situada em Fortaleza –CE, Brasil ( $3^{\circ}44'38''\text{S}$  e  $38^{\circ}34'11''\text{W}$ , 31 m altitude).

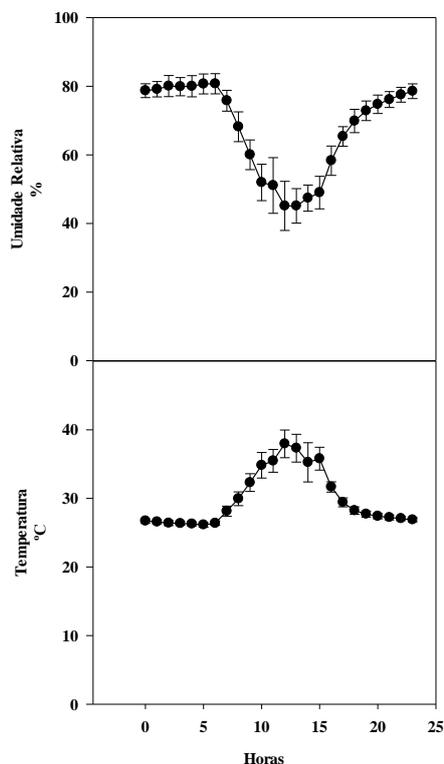
Sementes de algodão (cultivar Fiber Max 910) foram semeadas em vasos de 8 litros, contendo areia e vermiculita na proporção 1:1. Dez dias após a emergência, procedeu-se o desbaste e os tratamentos foram iniciados aos 25 dias de emergência. Até o início dos tratamentos, todas as plantas foram mantidas na capacidade de campo, por meio de irrigações diárias, sendo que no tratamento controle a irrigação foi mantida na capacidade de campo até o final do experimento.

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo compostos por três tratamentos, sendo eles: controle (bem irrigado), tratamento com suspensão de irrigação e tratamento com suspensão de irrigação + reidratação. A reidratação teve início no décimo primeiro dia da suspensão da irrigação, quando se constatou a redução de cerca de 40% na fotossíntese das plantas no tratamento com reidratação. Os teores de água do solo foram novamente elevados e mantidos até a capacidade de campo por meio de irrigações diárias até o final do experimento, quando os valores das trocas gasosas se igualaram aos do tratamento controle (50 dias após a emergência).

A adubação das plantas ocorreu por meio da irrigação, a partir da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada. A solução nutritiva utilizada apresentou a seguinte composição de macronutrientes:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ : 3 mM;  $\text{NH}_4\text{Cl}$ : 2 mM;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ : 2 mM;  $\text{MgSO}_4$ : 2 mM e  $\text{KNO}_3$ : 2 mM; e de micronutrientes:  $\text{H}_3\text{BO}_3$ : 40  $\mu\text{M}$ ;  $\text{MnCl}_2$ : 9  $\mu\text{M}$ ;  $\text{CuSO}_4$ : 3  $\mu\text{M}$ ;  $\text{ZnMoO}_4$ : 7  $\mu\text{M}$ ;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ : 0,1  $\mu\text{M}$  e Fe-EDTA: 100  $\mu\text{M}$  com ajuste do pH para 6,0 e sendo aplicada uma vez por semana até a diferenciação dos tratamentos (até 35 dias após emergência).

As condições ambientais da casa de vegetação durante o experimento foram monitoradas através de um termo-higrômetro com datalog acoplado, fazendo registros a cada hora (Figura 1).

**Figura 2.1** - Médias de umidade relativa e temperatura do ar na casa de vegetação durante o experimento com algodoeiro cultivar Fiber Max 910. Valores representam média dos 50 dias de experimento mais ou menos o desvio padrão.



## 2.1 Medidas de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas foram mensuradas diariamente de forma simultânea em folhas completamente expandidas. As medidas das taxas de fotossíntese líquida ( $P_N$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e concentração interna de  $CO_2$  foram realizadas através de um analisador de gás no infravermelho (IRGA, modelo LI-6400XT, Licor). As mensurações foram realizadas em folhas completamente expandidas submetidas à irradiância saturante ( $1000 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) fornecida pelo próprio aparelho.

As medidas da fluorescência da clorofila *a* foram realizadas através do método do pulso de saturação (SCHREIBER et al., 1994; VAN KOOTEN; SNEL, 1990) com um fluorômetro modulado (LI-6400-40, LI-COR, EUA), acoplado ao mesmo aparelho IRGA. A partir dos dados de fluorescência máxima ( $F_v$ ) e fluorescência mínima ( $F_o$ ), foram calculados a eficiência quântica máxima do fotossistema II (FSII), pela relação [ $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$ ], e os seguintes parâmetros: eficiência quântica efetiva do FSII [ $\Delta F/F_m' = (F_m' - F_s)/F_m'$ ], coeficiente de dissipação não fotoquímica [ $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$ ] e a taxa de transporte de elétrons do FSII [ $ETR = (\Delta F/F_m' \times PPFD \times 0.5 \times 0.84)$ ]. Para determinar a ETR, o valor 0,5 foi usado como a fração de energia de excitação

distribuída ao FSII (assumindo que cada fotossistema absorve metade da energia total incidente), e 0,84 foi usado como a fração de entrada da luz absorvida pelas folhas. As medidas realizadas no escuro foram feitas após exposição das folhas ao escuro durante 30 minutos com posterior exposição a um feixe de luz de  $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por 10 s, fornecido pela própria fibra óptica do aparelho.

## **2.2 Quantificação do grau de estresse**

As plantas foram coletadas após 15 dias de suspensão de irrigação, quando os seguintes parâmetros foram mensurados: peso fresco da parte aérea, vazamento de eletrólitos (danos de membrana), peroxidação lipídica e conteúdo relativo de água. O peso fresco foi determinado mediante pesagem em balança analítica.

O vazamento de eletrólitos foi determinado pela condutividade elétrica, conforme proposto por Shanahan *et al.* (1990). A peroxidação de lipídios foi estimada pelo conteúdo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) conforme Heath e Packer (1968) e o conteúdo relativo de água (CRA) das folhas foi determinado pelas diferenças de pesos fresco, túrgido e seco, conforme metodologia descrita por Fidalgo *et al.* (2004).

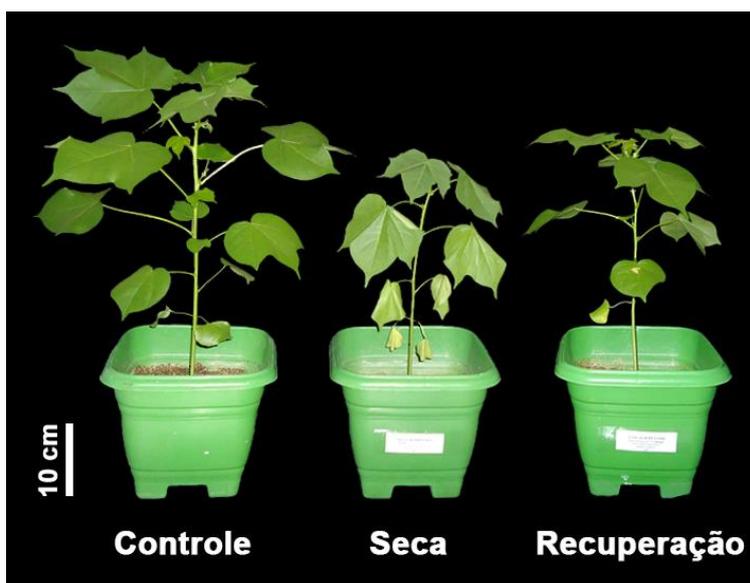
## **2.3 Análise estatística**

A produção de biomassa, peroxidação de lipídios, vazamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água foram comparadas através de teste de média (Tukey), utilizando o software Assistat. Os dados de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a são médias de 4 repetições mais ou menos o desvio padrão.

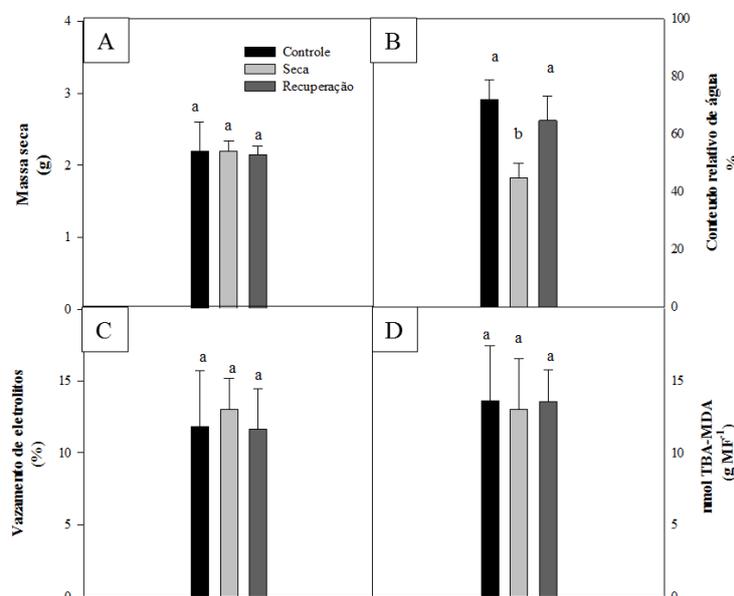
### 3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plantas de algodão submetidas à suspensão de irrigação apresentaram redução no crescimento (Figura 2), não diferiram na produção de biomassa (Figura 3A) mais reduziram em 40% no conteúdo relativo de água (Figura 3B. Sekmen *et al.* (2014) comparando duas variedades de algodão (84-S e M-503) quanto a tolerância à seca, observaram uma redução significativa no conteúdo relativo de água e acrescentaram que as variedades tolerantes têm uma menor redução do CRA. Tal relação entre redução a CRA e a produção de biomassa podem não ter sido observados devido ao tempo de aplicação do estresse, ou pelo fato de trata-se de uma variedade tolerante.

**Figura 2.2** –Plantas de algodão (*Gossypium hirsutum*) submetidas a condições bem irrigadas (controle), com suspensão de irrigação por 11 dias (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação)



**Figura 2.3** - Produção de biomassa (A), conteúdo relativo de água (B), vazamento de eletrólitos (C) e peroxididação de lipídios (D), em plantas de algodão, bem irrigadas (controle), com suspensão de irrigação por 11 dias (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação). Valores representam média de 4 repetições mais ou menos o desvio padrão.



A recuperação da seca (iniciada no 11<sup>a</sup> dia) foi suficiente para aumentar a turgescência das células, aumentando o conteúdo relativo de água (Figura 3D), possibilitando a retomada na produção de biomassa, mas 4 dias de recuperação não foram suficientes para que a produção de biomassa equiparasse a nível do tratamento controle. Lou *et al.* (2016) demonstraram que a biomassa de plantas de algodão aumentou rapidamente a nível de controle quando as plantas foram reidratadas. Esse resultado demonstrou que uma seca adequada e uma oportuna reidratação podem contribuir para uma compensação na produção de matéria seca, aliando à otimização da água.

O vazamento de eletrólitos (Figura 3C), não foi afetado pela suspensão de irrigação, assim como a peroxididação de lipídios (Figura 2B). Essas mensurações são estimativas simples de severidade do estresse, uma vez que quando a planta está sob estresse, radicais livres podem atacar diretamente os ácidos graxos polinsaturados nas membranas e iniciar a peroxididação lipídica provocando danos (CHEN *et al.*, 2006). Como as membranas são os primeiros alvos de muitos estresses, a manutenção da sua integridade e estabilidade é um importante componente da tolerância à seca, uma vez que a danificação das membranas leva a um decréscimo da atividade fotossintética (CHEN *et al.*, 2006). Comparando duas cultivares de algodão (84-S e M-503), quanto a sua

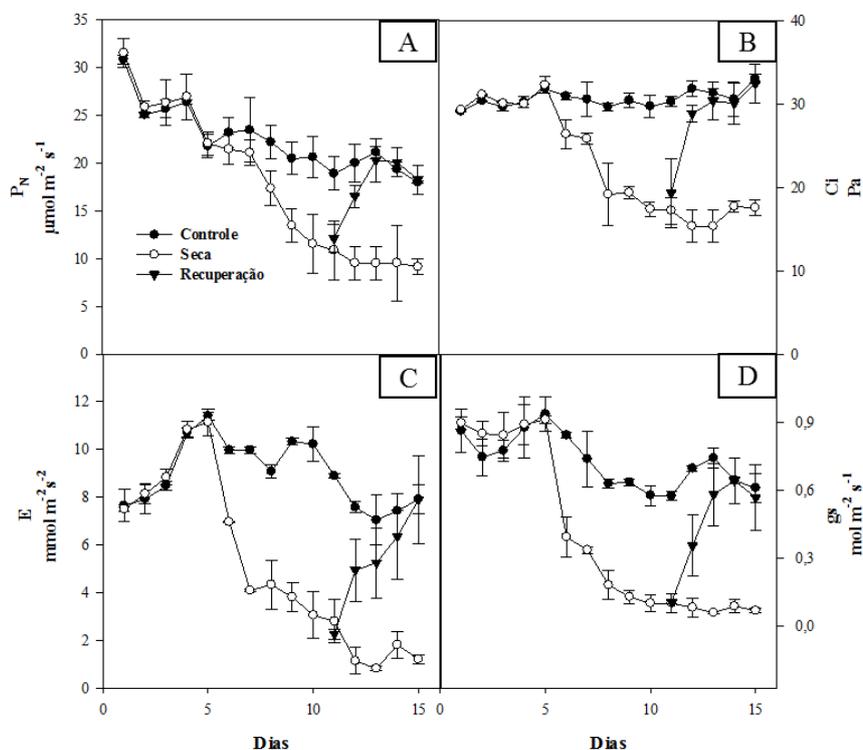
tolerância a seca, Sekmen *et al.* (2014) observaram que na variedade sensível a seca os valores de TBARS foram 169,4% maior que o controle e na variedade tolerante esses valores foram 40,89%, sob seca, demonstrando que essa variável é importante na definição da tolerância da planta a seca ou o grau de severidade do estresse (Shukla *et al.*, (2012).

Utilizando polietilenoglicol (PEG-6000) para induzir estresse hídrico em plantas de algodão (CCRI-60), Zhang *et al.* (2011) também não observaram alteração significativas na peroxidação lipídica com o aumento da concentração de PEG-6000 em raízes de algodão. Os autores sugeriram que tal resultado demonstra uma capacidade do algodoeiro de se proteger contra danos oxidativos sob estresse hídrico.

Seis dias após cessar a irrigação, plantas de algodão apresentaram redução de 53,1% na condutância estomática em relação ao controle (Fig. 2.4B). Tal mudança foi acompanhada pela concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), que foi reduzida 14,6% e pela transpiração (Figs. 2.4C e 2.4D), 30,2% menor que o controle. No entanto, a redução de Ci não foi suficiente para provocar uma redução significativa na fotossíntese (Fig 2.4A). A redução da fotossíntese foi observada somente a partir do oitavo dia consecutivo de suspensão de irrigação (-20,8% de P<sub>N</sub>) quando a condutância estomática reduziu 70,9% e a concentração interna de CO<sub>2</sub> era 35,5 % menor que o controle.

Quinze dias após a suspensão de irrigação, a fotossíntese já havia reduzido 50,8% em relação ao controle. A recuperação iniciada no 11º dia, quando as plantas apresentavam redução de 80% da *g<sub>s</sub>* e 33%, 70% e 37% de P<sub>n</sub>, E e Ci, respectivamente, durou somente quatro dias uma vez que as plantas recuperam os valores semelhantes aos da condição controle. Os dados mostram que a fotossíntese líquida foi totalmente dependente da suspensão de irrigação.

**Figura 2.4** – Fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e pressão parcial de CO<sub>2</sub> (D) em plantas de algodão, bem irrigadas (controle), com suspensão de irrigação por 11 dias (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação). O PPFd foi fixado em 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e a pressão parcial externa de CO<sub>2</sub> de 38 Pa. Pontos representam a média de 4 repetições mais ou menos o desvio padrão.



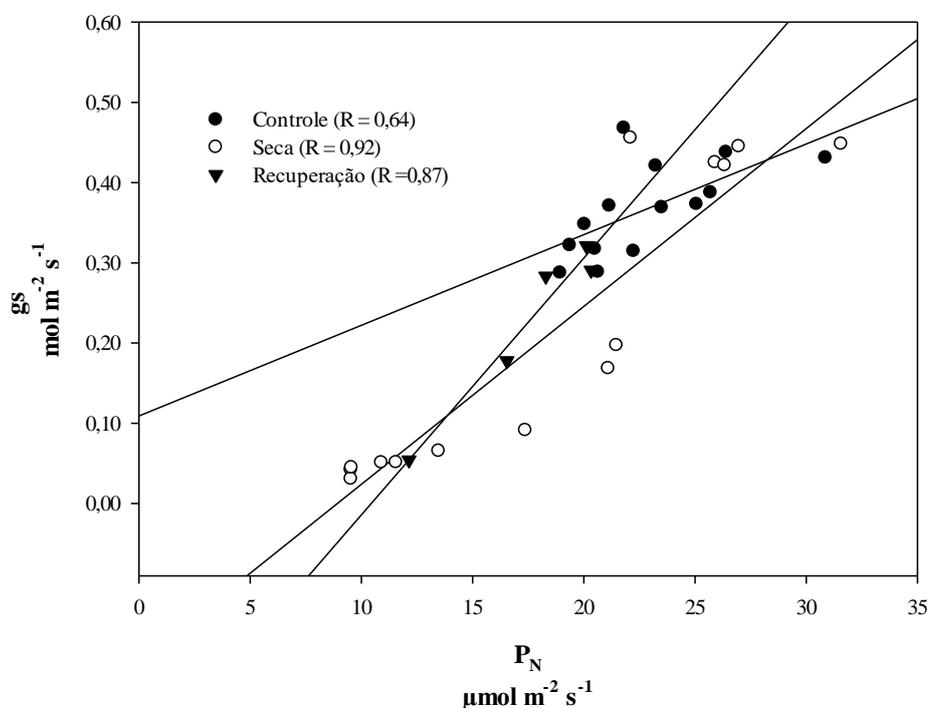
Snider et al. (2014) submetendo plantas de algodão (cultivar PHY 499 WRF) ao déficit hídrico, observaram uma redução de 40% nas taxas de fotossíntese quando as plantas foram de -0,3 MPa até 0,86 MPa de potencial hídrico do solo. Trabalhando com estresse hídrico em algodão, Lou *et al.* (2016) demonstraram que a fotossíntese reduziu significativamente em função do déficit hídrico e que durante a reidratação a fotossíntese voltou rapidamente (cerca de 3 dias) ao nível do controle, principalmente nos tratamentos de déficit hídrico denominado moderado (redução de 45% do conteúdo de água no solo), concluindo portanto que a capacidade das plantas para recuperar a sua atividade fotossintética, depende do grau de severidade do estresse e corroborando com os dados deste estudo onde o déficit hídrico seguido de reidratação tiveram efeitos semelhantes na condutância estomática ( $g_s$ ) e na fotossíntese.

No que se refere à redução acentuada nos valores de transpiração e  $g_s$ , nas plantas com suspensão da irrigação, Shahenshah e Isoda (2010) verificaram em seu estudo comparativo de cinco cultivares de algodão que o déficit hídrico também promoveu

quedas significativas na transpiração e  $g_s$ . Snider *et al.* (2014) submetendo plantas de algodão (cultivar PHY 499 WRF) ao déficit hídrico, observaram uma redução primeiramente da  $g_s$ , tal resultado é indicado como uma resposta primária da maioria das espécies. Para Medrano *et al.* (2002) a condutância estomática ( $g_s$ ) é um parâmetro referencial para tolerância a seca, sendo que para um grande número de espécies, a  $g_s \leq 0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  resultaria numa regulação negativa de todo o processo fotossintético, incluindo ETR.

Com o intuito de comprovar que a limitação estomática foi a principal responsável pela queda da fotossíntese na condição de suspensão de irrigação, foi realizada a correlação entre os parâmetros de  $g_s$  e  $P_N$  (Figura 2.5). Os resultados mostram correlação significativa entre  $g_s$  e  $P_N$ , indicando que  $g_s$  está intimamente associado com  $P_N$ , principalmente nas condições de seca e recuperação, podendo a redução da fotossíntese ser explicada pela redução na condutância estomática.

**Figura 2.5** - Correlação entre a condutância estomática e a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  em plantas de algodão bem irrigadas (controle), submetidas à suspensão de irrigação por 15 dias consecutivos (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação)



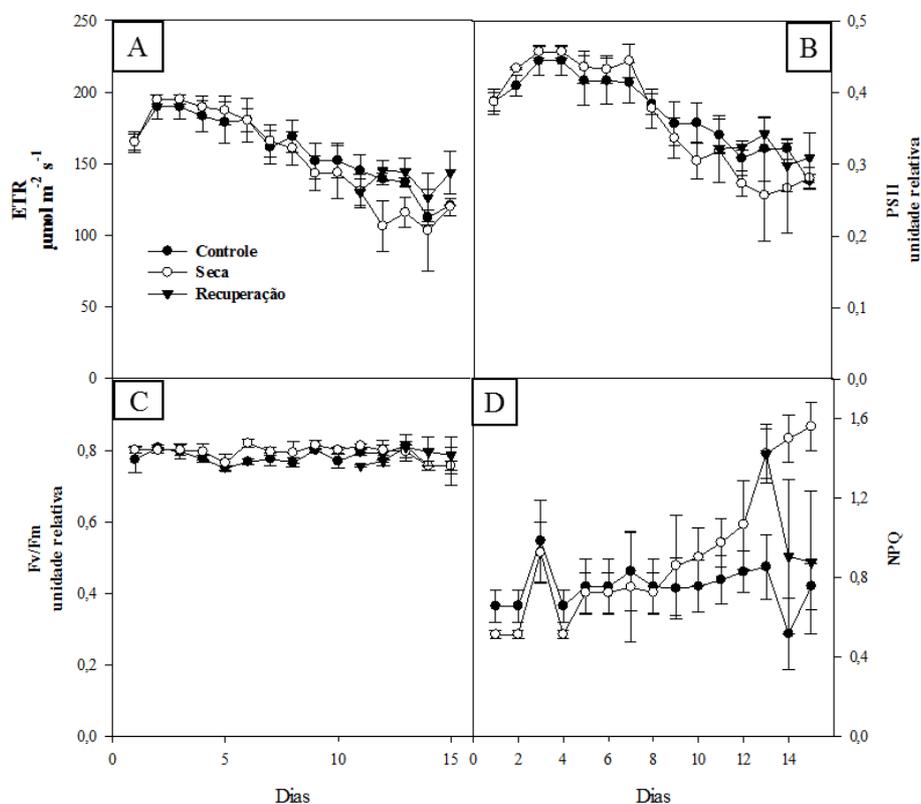
No tratamento controle, a menor correlação entre  $g_s$  e  $P_N$  (Figura 2.5) é um indício de que outros fatores estariam atuando sobre a fotossíntese, ou seja, o substrato

CO<sub>2</sub> não seria a única limitação. Neste caso as limitações seriam possivelmente resultado da regeneração da RuBP, da atividade catalítica da Rubisco e de demais enzimas do metabolismo de carboidratos e do nitrogênio (SAGE, 2002; FOYER et al., 1994; KANECHI et al., 1996; PAUL; DRISCOLL, 1997).

Snider *et al.*, (2014) também demonstraram essa forte dependência entre P<sub>N</sub> e g<sub>s</sub> (dentro do intervalo de -0,3 até -0,86 Mpa de potencial hídrico) Tendência semelhante foi encontrada por Flexas *et al.* (2004) e Zhang et al. (2011), que relataram que em algodão a g<sub>s</sub> declina rapidamente quando as plantas são submetidas a seca e isto resultou numa redução de fornecimento de CO<sub>2</sub> nos cloroplastos e num declínio de P<sub>N</sub>. Os autores também indicaram que a depressão fotossintética nas folhas de algodão sob seca foi causada por fatores estomáticos.

Paralelamente às leituras de trocas gasosas, foram mensurados os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* (Figura 2.6) a fim de verificar a ocorrência de foto-dano e observar a modulação da maquinaria fotossintética. Não foi possível observar uma redução significativa na taxa de transporte de elétrons e conseqüentemente uma redução na eficiência quântica efetiva do Fotossistema II (Figuras 6A e B) em decorrência da suspensão de irrigação, corroborando com os resultados obtidos por Snider et al. (2014); Kitao e Lei. (2007), Massacci *et al.* (2008), Pettigrew, (2004) e Snider *et al.* (2013).

**Figura 2.6-** Taxa de transporte de elétrons (ETR), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (PSII), eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e quenching não fotoquímico (NPQ) em plantas de algodão bem irrigadas (controle), submetidas à suspensão de irrigação por 15 dias consecutivos (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação). Pontos representam média de 4 repetições mais ou menos o desvio padrão.

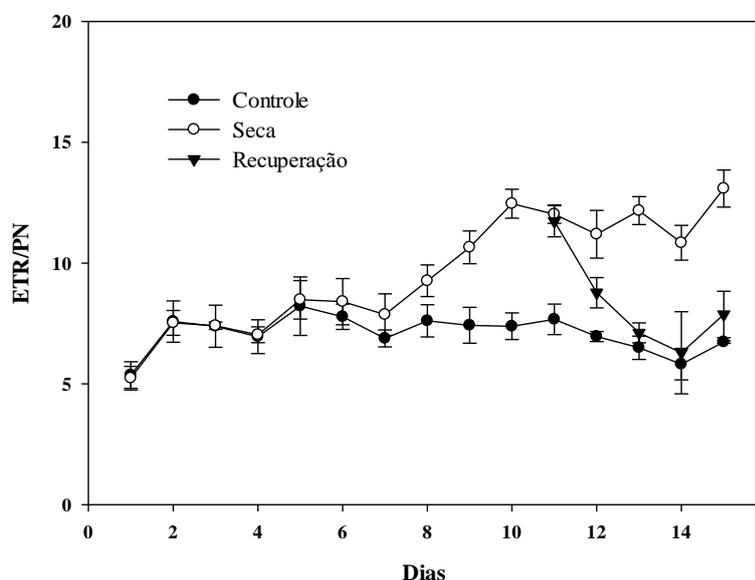


Como houve uma redução na fotossíntese (Figura 2.4A), mas a taxa de transporte de elétrons permaneceu inalterada (Figura 2.6A), indicou-se que estes elétrons estavam sendo consumidos de outra forma, através de drens alternativos de elétrons, sendo um dos drens mais importantes de elétrons nessas condições de estresse a fotorrespiração.

Tem sido relatado que as taxas de fotorrespiração podem aumentar tipicamente sob condições de déficit hídrico, permitindo a manutenção do fluxo de elétrons através do fotossistema II e possivelmente protegendo-o contra o estresse oxidativo (KITAO; LEI, 2007).

Uma das estimativas de drens alternativos de elétrons seria a relação ETR/PN e esta, por sua vez, sofreu um grande incremento quando as plantas foram submetidas a suspensão de irrigação (Figura 2.7), principalmente a partir do sétimo dia, quando a assimilação de  $\text{CO}_2$  começa a ser afetada e a ETR permanece sem alteração.

**Figura 2.7** – Relação ETR/PN em plantas de algodão bem irrigadas (controle), submetidas à suspensão de irrigação por 15 dias consecutivos (seca) e com suspensão de irrigação seguida de reidratação (recuperação). Pontos representam média de 4 repetições mais ou menos o desvio padrão.



A não redução na eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Figura 6B) discorda dos valores obtidos por Shahenshah e Isoda (2010) quando compararam cinco cultivares de algodão submetidas ao estresse hídrico. No entanto, Longenberger *et al.* (2009), que compararam parâmetros de fluorescência da clorofila *a* em 20 genótipos de algodoeiro como uma ferramenta para a identificação de tolerância à seca, observaram uma grande divergência de resultados nesses genótipos, concluindo que dentro dessa espécie há uma grande variabilidade desse resultado, não sendo a fluorescência da clorofila um bom indicador fisiológico para selecionar plantas ou estirpes que apresentam tolerância à seca, uma vez que esses resultados também não tiveram uma boa correlação com produção de fibras.

Corroborando com Sekmen *et al.* (2014), não foi observada uma redução na eficiência quântica potencial do fotossistema II (Figura 6C), este último nos permite estimar a ocorrência de fotoinibição. Na literatura é sugerido que valores deste parâmetro inferiores a 0,725 indicam que as folhas sofreram danos fotoinibitórios (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Isso ocorre porque uma redução na assimilação de CO<sub>2</sub> poderia gerar um excesso de elétrons e este, por sua vez, provocar danos ao fotossistema II. Um dos fatores que evitaram a ocorrência de fotodano foi possivelmente à dissipação de elétrons por vias não fotoquímicas (Figura 2.6D).

A partir do sétimo dia de suspensão da irrigação, quando as taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> começaram a ser afetadas, as plantas sob estresse hídrico começaram a aumentar a dissipação de elétrons por vias não fotoquímicas. Comparando cinco cultivares de algodão sob estresse hídrico, Shahenshah e Isoda (2010) observaram um aumento de até 173% nos valores de NPQ, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo. Tais resultados demonstram que em condições de estresse hídrico o aumento da dissipação de elétrons através do ciclo das xantofilas é um importante mecanismo de aclimação para essa espécie. Sendo um dos principais mecanismos pela qual a planta mantém quase que inalterado os valores de Fv/Fm.

#### **4.0 CONCLUSÃO**

A redução na fotossíntese pela suspensão de irrigação foi devido a limitações de natureza estomática, vista a sua rápida recuperação, sendo que, um dos fatores que mais contribuíram para o não agravamento dos efeitos da seca foi a dissipação de elétrons por vias não fotoquímicas (NPQ).

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, v.218, p.443–448, 1982.
- CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal Experimental Botany**, v.42, p.1–16, 1991.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Ann Bot**, v.103, p.551–560, 2009.
- CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **J Exp Bot**, v. 55, p.2365–2384, 2004.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P.; OSORIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Ann Bot**, v.89, p.907–916, 2002.
- CIA, M. C.; GUIMARÃES, A. C. R.; MEDICI, L. O.; CHABREGAS, S. M.; AZEVEDO, R. A. Antioxidant responses to water deficit by drought tolerant and sensitive sugarcane varieties. **Ann. Appl. Biol**, v.161, p.313–324, 2012.
- CIAIS, P.; REICHSTEIN, M.; VIOVY, N.; GRANIER, A.; OGEE, J.; ALLARD, V. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. **Nature**, v.437, p.529–533, 2005.
- COSTA, A. C. P. *et al.* Algodão. In: **Agronegócio brasileiro**, São Paulo: Sonopress Gráfica, p.24-29, 2008.
- EARL, H. J.; ENNAHLI, S. Estimating photosynthetic electron transport via chlorophyll fluorometry without photosystem II light saturation. **Photosynth. Res.**, v.82, p.177–186, 2004.
- ENGELBRECHT, B. M. J.; COMITA, L. S.; CONDIT, R.; KURSAR, T. A.; TYREE, M. T.; TURNER, B. L. Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. **Nature**, v.447, p.80-82, 2007.
- ENNAHLI, S.; e EARL, H. J. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. **Crop Science**, v.45, p.2374-2382, 2005.
- FIDALGO, F.; SANTOS, A.; SANTOS, I.; SALEMA, R. Effects of long-term salt stress on antioxidant defence systems, leaf water relations and chloroplast ultrastructure of potato plants. **Annals Applied Biology**, v.145, p.185-192, 2004.
- FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUI, M.; DÍAZ-ESPEJO, A. Mesophyll diffusion conductance to CO<sub>2</sub>: an unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v.193–194, p.70-84, 2012.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p.269–279, 2009.

FLEXAS J.; BOTA J.; LORETO, F. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269-279, 2004.

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

FOYER, C.H.; LESCURE, J.C.; LEFEBVRE, C.; MOROT-GAUDRY, J. F.; VICENTZ, M.; VAUCHERET H. Adaptation of photosynthetic electron transport, carbon assimilation, and carbon partitioning in transgenic *Nicotiana plumbaginifolia* plants to change in nitrate reductase activity. **Plant Physiology**, v.104, p.171-178, 1994.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxid Redox Signal**, v.11, p.861-905, 2009.  
HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Arch. Biochem. Biophys.** v.125, p.189-198. 1968.

KANECHI, M.; UCHIDA, N.; YASUDA, T.; YAMAGUCHI, T. Non-stomatal inhibition associated with inactivation of Rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. **Plant and Cell Physiology**, v.37,p. 455-460, 1996.

KITAO, M.; LEI, T. T. Circumvention of over-excitation of PSII by maintaining electron transport rate in leaves of four cotton genotypes developed under long-term drought. **Plant Biology**, v.9, p.69–76, 2007:

LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M.; RITCHIE, G. L. Water-deficit stress in cotton. In: D. M. Oosterhuis, ed. *Stress Physiology in Cotton*, pp. 37–72. **The Cotton Foundation, Cordova, TN**, 2011.

LONGENBERGER, P. S; SMITH, C. W.; DUKE, S. E.; McMICHAEL, B. L. Evaluation os chlorophyll fluorescence as a tool for the idenfification of drought tolerance in upland cotton. **Euphytica**, v.166, p.25-33, 2009.

LUO H. H.; ZHANG Y. L.; ZHANGW. F. et al. Effects of re-watering after drought stress on photosynthesis and yield during flowering and boll-setting stage of cotton under-mulch-drip irrigation in Xinjiang. **Acta Agron. Sin.**, v.34, p.171-174, 2008.

LUO, H. H.; ZHANG, Y. L.; ZHANG, W. F. Effects of water stress and rewatering on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. **Photosynthetica**, v.54, n.1, p.65-73, 2016.

MASSACCI, A.; NABIEV, S. M. ; PIETROSANTI, L.; NEMATOV, S. K. ; CHERNIKOVA, T. N.; THOR, K.; LEIPNER, J. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field

conditions studied by gasexchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiol. Biochem**, v.46, p.189-195, 2008.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J.; GULIAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Ann. Bot.**, v.89, p.895–905, 2002.

OGREN, W. L. Photorespiration: pathways, regulation, and modification. **Annu Rev Plant Physiol**, v.35, p.415-442, 1984.

ORT, D. R. When there is too much light. **Plant Physiology**, v.125, p.29-32, 2001.

PASSIOURA, J. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. **J Exp Bot**, v.58, p.113–117, 2007.

PASSIOURA J.: The drought environment: Physical, biological and agricultural perspectives. – **J. Exp. Bot**, v.58, p.113-117, 2007.

PAUL, M. J.; DRISCOLL, S. P. Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signaling nitrogen deficiency through source sink-imbalance. **Plant, Cell and Environment**, v.20; p.110-116, 1996.

PETTIGREW, W. T.: Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. **Crop Sci.** 44, 1265–1272, 2004.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo ‘Formosa’ cultivado em condição de campo. **Bragantia**, v.67, n.4, p.815-822, 2008.

SAGE, R. F. Variation in the kcat of Rubisco in C3 and C4 plants and some implications for photosynthetic performance at high and low temperature. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.609-620, 2004.

SARANGA, Y.; MENZ, M.; JIANG, C. X.; ROBERT, J. W.; YAKIR, D.; ANDREW, H. P. Genomic dissection of genotype x environment interactions conferring adaptation of cotton to arid conditions. **Genome Res**, v.11, p.1988–1995, 2001.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SCHULZE, E. D.; CALDWELL, M. M. (Ed.). **Ecophysiology of photosynthesis**. Springer, Berlin, p. 49-70. 1994.

SEKMEN, A.; OZGUR, H; UZILDAY,O; TURKAN, I. Reactive oxygen species scavenging capacities of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars under combined drought and heat induced oxidative stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.99, p.141–149, 2014.

SHAHENSHAH; ISOLDA, A. Effects of water stress on leaf temperature and chlorophyll fluorescence parameters in cotton and peanut. **Plant prod. Sci**, v13, n.3, p.269-278, 2010.

- SHANAHAN, J. F.; EDWARDS, I. B.; QUICK, J. S.; FENWICK, J. R. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. **Crop Sci.**, v.30, p.247-251, 1990.
- SHARKEY, T. D.; BERNACCHI, C. J.; FARQUHAR, G. D.; SINGSAAS, E. L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C3 leaves. **Plant, Cell and Environment**, v.30, p.1035–1040, 2007.
- SINGH, R. P.; PRASAD, P. V.; SUNITA, K.; GIRI, S. N.; REDDY, K. R.. Influence of high temperature and breeding for heat tolerance in cotton: a review. **Adv. Agron.**, v.93, p.313–385, 2007.
- SNIDER, J. L.; COLLINS, G. D.; WHITAKER, J.; PERRY, C. D.; E CHASTAIN, D. R. Electron Transport Through Photosystem II Is Not Limited By A Wide Range of Water Deficit Conditions In Field-Grown *Gossypium hirsutum*. **J Agro Crop Sci**, 2014.
- SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M.; COLLINS, G. D.; PILON, C.; FITZSIMONS, T. R. Field-acclimated *Gossypium hirsutum* cultivars exhibit genotypic and seasonal differences in photosystem II thermostability. **J. Plant Physiol.** v.170, p.489-496, 2013.
- TURKAN, I.; BOR, M.; OZDEMIR, F.; KOCA, H. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. **Plant Sci.**, v.168, p.223–231, 2005.
- VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, v.25, p.147-150, 1990.
- ZHANG, Y. L.; HU, Y. Y.; LUO, H. H.; CHOW, W. S.; ZHANG, W. F. Two distinct strategies of cotton and soybean differing in leaf movement to perform photosynthesis under drought in the field. **Funct. Plant Biol.**, v.38, p.567-575, 2011.
- ZIVCAK, M.; BRESTIC, M.; DREVENAKOVA, Z. B. P; OLSOVSKA, K; KALAJI, H. M; YANG, X.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. **Photosynth Res.**, v.117, p.529–546, 2013.

**CAPITULO III - CRESCIMENTO E TOLERÂNCIA DO ALGODOEIRO AOS  
EFEITOS ISOLADOS E COMBINADOS DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO  
EXCESSIVA E DEFICITÁRIA SOB ESTRESSE SALINO**

## RESUMO

Embora seja muito relevante o estudo de fatores de estresse de maneira particularizada, sob condições naturais de cultivo as plantas são expostas a uma combinação variada de diversos fatores abióticos, os quais interagem fortemente, resultando em uma combinação múltipla de fatores adversos que afetam o crescimento, a fisiologia, o metabolismo e a produtividade. Uma vez que estresses combinados podem reforçar, diminuir, mascarar ou, mesmo, reverter às respostas das plantas a um simples fator de estresse. Diante disso, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o crescimento e a tolerância do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária sob estresse salino. O estudo foi conduzido em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica da UFC – Campus do Pici. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4, correspondendo a diferentes níveis de reposição hídrica (70, 100 e 130% da demanda hídrica da planta), associados aos crescentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,5; 5,0; e 7,5 dS m<sup>-1</sup>), totalizando 12 tratamentos com cinco repetições. As variáveis analisadas foram: altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar, biomassa seca (radicular, caule, folhas, flores e maçãs e total), razão biomassa seca radicular parte aérea e os índices de tolerância à salinidade. O crescimento e a produção de biomassa das plantas foram acentuadamente reduzidos pelas condições de déficit hídrico e da salinidade do solo. Contudo, os efeitos dos sais foram mais acentuados. Os estresses influenciaram de maneira isolada a emissão foliar, diâmetro do caule, área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar e biomassa de capulhos. Os efeitos da interação entre os estresses foram sentidos na produção de biomassa seca de folhas, caule, flores e total. A biomassa de raízes não mostrou alterações em ambos estresses. O grau de estresse hídrico foi capaz de acentuar a susceptibilidade à salinidade e as plantas qualificam-se, em termos gerais, como moderadamente tolerantes aos efeitos decorrentes da salinidade e quando associadas a uma lâmina excessiva o algodoeiro foi classificado como tolerante a todos os níveis de salinidade.

**Palavras-chave:** Múltiplos estresses. Déficit hídrico. Salinidade. Tolerância a salinidade. *Gossypium hirsutum* L.

## ABSTRACT

Although the study of stress factors in a particular way is very relevant, under natural conditions of cultivation the plants are exposed to a varied combination of several abiotic factors, which interact strongly, resulting in a multiple combination of adverse factors that affect growth, Physiology, metabolism and productivity. Since combined stresses can enhance, diminish, mask, or even reverse a plant's responses to a single stressor. Therefore, the objective of this study was to evaluate the growth and tolerance of the cotton subjected to the isolated and combined effects of excessive irrigation and deficit irrigation under salt stress. The study was conducted in a greenhouse at the UME - Campus do Pici Agrometeorological Station. The design was completely randomized, in a 3x4 factorial scheme, corresponding to different levels of water replenishment (70, 100 and 130% of the water demand of the plant), associated to the increasing salinity levels of irrigation water (0.5; 2,5: 5.0 and 7.5 dS m<sup>-1</sup>), totaling 12 treatments with five replicates. The analyzed variables were: plant height, number of leaves, stem diameter, leaf area, specific leaf area, leaf weight ratio, dry biomass (root, stem, leaves, flowers and apples and total) Salinity tolerance indices. Plant biomass growth and biomass production was markedly reduced by water deficit and soil salinity conditions. However, the effects of the salts were more pronounced. The stresses influenced in an isolated way the leaf emission, stem diameter, leaf area, specific leaf area, foliar weight ratio and biomass of beetles. The effects of the interaction between the stresses were felt in the dry biomass production of leaves, stem, flowers and total. Root biomass did not show changes in both stresses. The degree of water stress was able to accentuate the susceptibility to salinity and the plants are generally qualified as moderately tolerant to the effects of salinity and when associated with an excessive blade the cotton was classified as tolerant to all levels of salinity.

**Key words:** Multiple stresses. Water deficit. Salinity. Salt tolerance. *Gossypium hirsutum* L.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A agricultura em várias partes do mundo enfrenta problemas com a falta de recursos hídricos adequados, forçando muitos agricultores a utilizarem água com qualidade inferior (concentração de sais relativamente alta) para a irrigação das culturas, sendo necessária a avaliação da qualidade dessa água e o manejo rigoroso para sua utilização. No Brasil, principalmente na região semiárida, a escassez de recursos hídricos e a alta salinidade das fontes de água levam à busca de alternativas para o uso mais eficiente e racional de águas consideradas de baixa qualidade (ALVES *et al.*, 2011).

A salinidade, ocasionada naturalmente ou por ação antrópica, através do manejo inadequado da irrigação ou uso de águas de alta salinidade, é um dos problemas que mais comprometem o crescimento e a produtividade das culturas em todo o mundo (VEERANAGAMALLAIAH *et al.*, 2007; ISLÃ; ARAGUÉS, 2010). O uso de água com excesso de sais pode limitar a produção agrícola em decorrência do efeito osmótico de toxicidade iônica e desequilíbrios nutricionais (efeito indireto) (ASSIS JÚNIOR *et al.*, 2007; KHAN; PANDA, 2008).

A utilização de águas salinas na agricultura deve ser entendida como uma opção de usar os recursos naturais escassos e, portanto, deve-se lançar mão de algumas estratégias para minimizar os impactos negativos do aproveitamento de água salina na irrigação, entre elas: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de diversas outras práticas visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (LACERDA *et al.*, 2009).

Outra estratégia para o uso de irrigação com água salina é a aplicação de uma lâmina de lixiviação para a lavagem dos sais no perfil do solo. Por outro lado, excessivas lâminas de irrigação associadas ao alto nível do lençol freático e uma má drenagem natural, podem provocar a elevação do nível do lençol freático e, em consequência disso, a ascensão capilar, culminando com o excesso de água e sais na zona radicular (PIZARRO, 1985; AYERS e WESTCOT, 1991; BERNARDO, 1995; FERREIRA, 2002; CORDEIRO, 2001).

No entanto, mesmo conhecendo a necessidade do uso de água de boa qualidade e do uso de manejos que visem não salinizar o solo, como a aplicação de lâminas de lixiviação, é importante salientar que a água é um recurso cada vez mais

escasso, não só em qualidade, mas também em quantidade (MUNNS, 2002). Neste contexto, é cada vez mais comum o uso da irrigação deficitária como forma de otimizar os recursos hídricos.

A limitação de água como insumo faz surgir dois problemas para a produção agrícola: economizar água usando irrigação com déficit e/ou com água salina sem prejudicar o desenvolvimento da cultura, sabe-se que das duas formas mencionadas acima a irrigação resultará em estresses que podem afetar diversos processos bioquímicos e fisiológicos essenciais, uma vez que comprometem o funcionamento celular.

Entre os estresses abióticos, a salinidade e a seca são os principais fatores que reduzem a produtividade das culturas no mundo (FAGIERA *et al.*, 2011). A compreensão da interação entre a salinidade e o déficit hídrico pode fornecer informações importantes sobre o manejo das culturas, tendo em vista que é comum a ocorrência simultânea desses dois fatores de estresse nas condições de campo. Além disso, as respostas das plantas submetidas à ação de múltiplos estresses são altamente complexas e podem diferir das respostas de plantas cultivadas sob estresse individual, sendo que em muitos casos a ocorrência simultânea de outro fator de estresse pode aumentar a susceptibilidade das plantas à salinidade (SYVERTSENA; GARCIA-SANCHEZ, 2014).

A cultura do algodoeiro, apesar de tolerante à salinidade e relativamente tolerante à seca, pode sofrer reduções substanciais no crescimento e produção, quando submetida a um elevado estresse salino, assim como quando submetida a um déficit hídrico. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e a tolerância do algodoeiro à salinidade submetido a efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação.

## **2.0 MATERIAL E MÉTODOS**

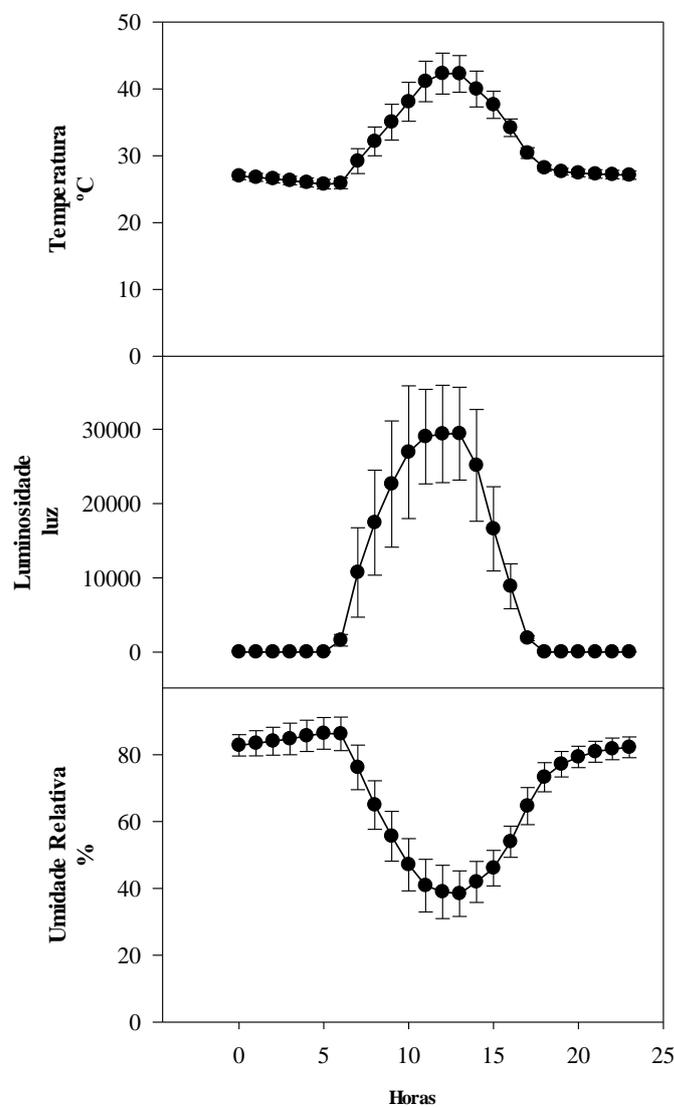
### **2.1 Localização e caracterização da área experimental**

O trabalho foi conduzido na Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizado em Fortaleza, CE (3°45 S de latitude, 38°33 W de longitude e 20 m de altitude). De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está inserida em uma região de clima Aw', ou seja, tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do outono e do verão. A precipitação média é de 1600 mm e temperatura média compreendida entre 26°C e 27°C.

O experimento foi instalado em ambiente protegido numa área de 76,8 m<sup>2</sup>. A casa de vegetação tem estrutura metálica galvanizada do tipo arco treliçado, medindo 3,5 metros na parte central. A cobertura é composta de filme de polietileno de baixa densidade, com aditivo contra radiação ultravioleta, espessura de 0,15 mm, transparência à radiação solar de 80%, apresentando tela anti-afídios nas laterais e nos fundos.

No interior da casa de vegetação foi instalado um termo-higrômetro com datalog acoplado da marca Onset, modelo Hobo<sup>®</sup>, o qual registrava temperatura, luminosidade e umidade relativa a cada hora durante toda a condução do experimento, que foi de maio a junho de 2016 (Figura 3.1).

**Figura 3.1** - Médias de temperatura do ar, luminosidade e umidade relativa na casa de vegetação durante o experimento com algodoeiro cultivar FiberMax 910. Valores representam média dos 50 dias de experimento mais ou menos o desvio padrão.



## 2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido sob delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x4) com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por duas plantas. Para as variáveis em que os dados foram coletados ao longo do tempo, acrescentou-se a época de avaliação como uma fonte de variação.

Os tratamentos foram constituídos por três lâminas de irrigação, que representavam percentuais da demanda hídrica da planta (70, 100 e 130%) e diferentes concentrações de sais na água de irrigação (0,5; 2,5; 5,0 e 7,5 dS m<sup>-1</sup>).

### 2.3 Preparação do solo

O substrato utilizado foi obtido pela mistura de solo retirado da camada de 0 – 0,20 m de Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006) coletado na Fazenda Experimental Vale do Curu – FEVC, pertencente a UFC, e húmus, na proporção 2:1. A análise da mistura (solo/húmus) foi realizada no Laboratório de Análise de Solo da FUNCEME (Tabela 1).

**Tabela 3.1** - Composição química da mistura (solo/húmus) (2:1) utilizado no cultivo do algodoeiro. UFC, 2016.

MO	C	N	C/N	Ca	Mg	Na	K	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	P	pH	CE
----- g kg <sup>-1</sup>	-----	-----	-	-----	-----	-----	-----	-----	mg kg <sup>-1</sup>	Água	dS m <sup>-1</sup>
29,07	16,86	1,80	9	8,3	2,5	0,72	1,29	0,66	486	7,2	1,95

\*MO: matéria orgânica; C: carbono; N: nitrogênio; C/N: relação carbono e nitrogênio; Ca; cálcio; Mg; magnésio; Na; sódio; K; potássio; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>; concentração de hidrogênio mais alumínio; P; fósforo; pH; potencial hidrogenionico; CE: condutividade elétrica do solo.

A adubação de macronutrientes do algodoeiro e seu parcelamento da mesma foi realizado conforme o Manual de recomendação da adubação e calagem do estado do Ceará (1992) e a adubação de micronutrientes deu-se com aplicação de 1g por planta de FTEBR12 de uma única vez. O parcelamento da adubação deu-se com intervalo de 15 dias após a adubação de fundação.

**Tabela 3.2** - Parcelamento e recomendação de macronutrientes para o algodoeiro herbáceo irrigado pelo Manual de recomendação de adubação do estado do Ceará, (1992). e adubação de micronutrientes.

Adubação	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	B	Cu	Mn	Fe
	-----g-----											
Fundação	0,4	1,4	0,250	1,4	0,3	0,9	0,12	0,092	0,0217	0,034	0,0134	0,034
1ª Cobertura	0,6	-	0,375	-	-0,2	-	0,18	-	-	-	-	-
2ª Cobertura	0,6	-	0,375	-	-0,2	-	0,48	-	-	-	-	-
Total	1,6	1,4	1,00	1,4	0,7	0,9	0,78	0,092	0,0217	0,034	0,0134	0,034

\* N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca; cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Cl: Cloro; Zn: zinco; B: boro; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro.

## **2.4 Material vegetal**

As sementes de algodão, cultivar FiberMax 910, foram obtidas no Laboratório de Sementes da Universidade Federal do Ceará. Essa cultivar foi lançada em 2008 pela Bayer Crop Science, e de acordo com a empresa, possui maior produtividade em lavouras e alta qualidade de fibra, além de resistência ao bicudo.

A semeadura foi feita em vasos de 7 dm<sup>3</sup> contendo solo, deixando-se cerca de 2 cm entre a superfície do solo e a borda superior do vaso, para facilitar a irrigação. Até a diferenciação dos tratamentos, todas as plantas foram mantidas na capacidade de campo, por meio de irrigações diárias. Quatro dias após a emergência, as plantas sofreram desbaste, ficando uma planta por vaso, e os tratamentos foram diferenciados após 10 dias.

## **2.5 Manejo da irrigação**

A irrigação foi realizada diariamente e o volume de água aplicado ao solo em percentuais da evapotranspiração real das plantas (70, 100 e 130%) foi estimado diariamente de acordo com o princípio do lisímetro de drenagem. Para tanto, devido a mudanças na demanda hídrica da cultura pelo estresse salino, para o manejo de cada nível de água salina havia uma bateria de lisímetros correspondente para determinação da lâmina correspondente a 100% da demanda hídrica, sendo as demais lâminas estimadas a partir desta (Tabela 3.3).

**Tabela 3.3-** Lâmina de irrigação total aplicada durante a condução do experimento.

Lâmina de irrigação	CEa	Lâmina aplicada
%	dS m <sup>-1</sup>	Mm
70% da DHC	0,5	376,8
	2,5	316,6
	5	270,6
	7,5	250,5
100% da DHC	0,5	535,3
	2,5	441,5
	5	382,0
	7,5	348,4
130% da DHC	0,5	671,3
	2,5	573,3
	5	498,6
	7,5	453,3

CEa – Condutividade elétrica da água de irrigação

A água de menor CE (0,5 dS m<sup>-1</sup>) foi obtida a partir da diluição de água de poço (CE= 1,1 dS m<sup>-1</sup>) com água da chuva (CE=0,0 dS m<sup>-1</sup>). Para obtenção das demais concentrações (2,5, 5,0 e 7,5 dS m<sup>-1</sup>) foram adicionados à água do poço, os sais NaCl e CaCl<sub>2</sub> na proporção 7:3, obedecendo-se a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> = CE x 10), segundo Rhoades et al. (2000).

Após preparação e calibração, utilizando um condutivímetro portátil, as águas foram armazenadas em caixas plásticas de 100 L, uma para cada nível de CEa, devidamente fechadas, de modo a se evitar a evaporação, a entrada de água de chuva e a contaminação com materiais que pudessem comprometer sua qualidade.

## 2.6 Variáveis Analisadas

### 2.6.1 Altura de plantas, diâmetro de caule e número de folhas

A altura das plantas foi mensurada com o auxílio de uma trena métrica graduada, considerando-se a distância vertical entre a base da planta e o meristema apical. Com o auxílio de um paquímetro digital, foi mensurado o diâmetro basal do caule do algodoeiro a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo. Também foram contabilizadas o número de folhas totalmente abertas por planta, por meio da contagem

direta das folhas. As variáveis foram mensuradas aos 3, 10, 17, 24, 31, 38 e 45 dias após a diferenciação dos tratamentos (DAT).

### 2.6.2 Área foliar e Área foliar específica

Ao término do experimento, as folhas foram destacadas e determinado a área foliar ( $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ), utilizando um integrador de área (LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA).

Para evidenciar a área foliar disponível em cada grama de folha, foi determinada a área foliar específica, sendo obtida por meio da relação entre a área foliar e biomassa seca da folha (Equação 1).

$$AFE = \frac{AF}{BSF} \quad (1)$$

Onde: AFE - Área foliar específica ( $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ); AF - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ); BS<sub>F</sub> - Biomassa seca foliar (g).

### 2.6.3 Produção e alocação de biomassa

Ao final do experimento, as plantas foram coletadas e separadas em caules, folhas, flores, capulhos e raiz. Em seguida foram pesadas, para quantificar a massa fresca e as diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, mantendo-se a temperatura de 72°C. O tempo de secagem foi determinado por pesagens das amostras até a manutenção de peso constante. Após a secagem, cada amostra foi pesada em balança analítica para estimativa da massa seca acumulada em cada parte vegetal, sendo os valores expressos em gramas.

Com os dados de matéria seca total e das diferentes partes da planta, foi calculada a partição de biomassa em termos percentuais para as diferentes partes dos vegetais, segundo o método proposto por Benincasa (1988).

### 2.6.4 Índices de tolerância à salinidade

Foram quantificadas as reduções percentuais da altura da planta (RPAP), Diâmetro caulinar (RPDC), número de folhas (RPNF), área foliar (RPAF) e matéria seca total (RPMST) do algodoeiro sob as diferentes concentrações de água salina

e os diferentes níveis de irrigação, comparando-as à testemunha (plantas cultivadas com água de CE igual a  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  e irrigadas com 100% da demanda hídrica das plantas), conforme apresentado na equação 3, proposta por Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010).

$$RP = \frac{[(PSTS - PCTS)] \cdot 100}{PSTS} \quad (3)$$

Onde: RP - Redução da produção da biomassa seca da parte aérea (%); PSTS - Produção da biomassa seca da parte aérea no tratamento com  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  de CE e irrigada com 100% da capacidade de campo ( $\text{g planta}^{-1}$ ); PCTS - Produção da biomassa seca da parte aérea no tratamento com água salina e irrigada com 100% e 130 % da capacidade de campo ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

Para interpretação dos resultados, foi utilizada a Tabela 4, que dispõe da classificação de genótipos quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção de matéria seca.

**Tabela 3.4** – Classificação de genótipos quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção de matéria seca da planta.

Redução da produção de matéria seca (%)	Classificação
0 – 20	Tolerante
20,1 – 40	Moderadamente tolerante
40,1 – 60	Moderadamente sensível
> 60	Sensível

Fonte: Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010).

#### 2.6.6 Condutividade elétrica do solo

Ao final do experimento foram coletadas amostras de solos e a partir dessas amostras foram determinadas a condutividade elétrica no solo de acordo com o procedimento estabelecido por Camargo *et al.* (1986) ou Raij *et al.* (2001) em extrato na relação 1:1.

#### 2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e posteriormente à análise de variância a 5 e 1% de probabilidade. Quando a interação entre lâminas de irrigação e concentrações de sais na água de irrigação foi significativa os dados foram

desdobrados em análise de regressão sendo o modelo escolhido pelo  $R^2$  ajustado. Quando os dados não apresentaram interação, os dados para lâminas foram submetidos ao teste de Tukey e as concentrações de sais da água de irrigação foram submetidas a análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares ASSISTAT<sup>®</sup> versão 7.7 beta (SILVA;AZEVEDO, 2009) e SIGMAPLOT 12.0<sup>®</sup>.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Condutividade elétrica do solo

A condutividade elétrica do solo (CEs), obtida em extrato aquoso, foi influenciada significativamente pelo efeito das lâminas de irrigação excessiva e deficitária e pelas diferentes concentrações de água salina, bem como pela interação entre esses fatores (Tabela 3.5).

**Tabela 3.5** – Resumo da análise de variância. Quadrados médios de condutividade elétrica do solo (CEs) submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina.

Fonte de variação	GL	CEs
L. Irrigação (F1)	2	2,569**
C. Sais (F2)	3	71,374**
Inter. F1 x F2	6	4,266**
Resíduo	48	0,031
Total	59	-
CV (%)	-	12,64

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 = < p < .05$ );

Em relação aos efeitos da salinidade, foram verificados acréscimos lineares com o incremento dos níveis salinos da água de irrigação (Tabela 3.6). Sendo que, para cada unidade de condutividade elétrica aplicada na água de irrigação houve um acréscimo de 0,69; 0,75 e 0,684  $\text{dS m}^{-1}$ , para as lâminas de 70, 100 e 130% da demanda hídrica da cultura, respectivamente.

Comparando as médias de CEs para cada lâmina de irrigação dentro dos níveis de condutividade elétrica da água (Tabela 3.6), foi possível observar que a CE do solo irrigado com a lâmina de irrigação excessiva (130% de DHC), e com maior nível de água salina ( $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) não deferiu do solo irrigado com 100% da DHC. Ou seja a lâmina

de 130% da DHC não foi eficiente na lixiviação dos sais para maiores concentrações deste na água de irrigação. Na lâmina de 70% da DHC associada com 5,0 dS m<sup>-1</sup> de salinidade da água, foi possível notar um menor valor de CEs, neste caso deveu-se ao baixo volume de água aplicado (Tabela 3.4) devido a baixa demanda hídrica.

**Tabela 3.6** - Condutividade elétrica do solo (CEs) irrigado com lâminas de irrigação excessiva e deficitária no algodoeiro sob diferentes concentrações de sais da água de irrigação e modelos de ajuste matemáticos de regressão linear e coeficiente de determinação para a condutividade elétrica do solo (CEs).

Lâminas de irrigação (% DHC)	CE do solo (dS m <sup>-1</sup> )				Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	0,5	2,5	5,0	7,5		
70	2,60 <sup>a</sup>	3,77 <sup>a</sup>	4,21 <sup>c</sup>	7,83 <sup>a</sup>	CEs = 0,69x + 1,92	0,86
100	1,54 <sup>b</sup>	3,83 <sup>a</sup>	6,84 <sup>a</sup>	6,54 <sup>b</sup>	CEs = 0,75x + 1,75	0,84
130	1,44 <sup>b</sup>	3,12 <sup>a</sup>	5,41 <sup>b</sup>	6,15 <sup>b</sup>	CEs = 0,69x + 1,33	0,95
DMS	0,895					

Letras minúsculas comparam a influência da lâmina dentro de cada nível de salinidade pelo teste de Tukey. DMS – Diferença mínima significativa

### 3.2 Altura de plantas, diâmetro caulinar e número de folhas

Os efeitos das lâminas e das concentrações de sais na água de irrigação foram avaliados sete vezes ao longo do experimento (0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a diferenciação dos tratamentos). Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Cramér-von Mises, Anderson-Darling, Kuiper, Watson, Lilliefors e Shapiro-Wilk, apresentando comportamento não paramétrico para todos os testes, quando da interação dos estresses com o tempo. Com a finalidade de observar qual foi o comportamento das variáveis de crescimento (Altura de plantas, diâmetro caulinar e número de folhas) ao longo do tempo, os dados foram avaliados em cada época de coleta de dados (Tabela 3.7).

Para todas as variáveis de crescimento analisadas ao longo do tempo (Altura de plantas, diâmetro caulinar e número de folhas), os efeitos dos estresses começaram a ser observados entre o 17° e o 24° DAT. Até o 45° DAT, não houve interação entre os estresses que impactasse as variáveis (Tabela 3.7).

**Tabela 3.7** -Resumo da análise de variância. Quadrados médios para altura, diâmetro caulinar e número de folhas do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação aos 3, 10, 17, 24, 31, 38 e 45 dias de aplicação dos tratamentos.

Altura das plantas								
F. variação	GL	DAT						
		3	10	17	24	31	38	45
L. Irrig. (F1)	2	0,81 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	4,89 <sup>ns</sup>	266,8**	586,1**	1143**	1181**
C. Sais (F2)	3	0,92 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	69,7**	346,2**	604,9**	819,6**
Inter. F1 x F2	6	0,81 <sup>ns</sup>	5,10 <sup>ns</sup>	12,7 <sup>ns</sup>	9,7 <sup>ns</sup>	4,11 <sup>ns</sup>	29,64 <sup>ns</sup>	55,59 <sup>ns</sup>
Resíduo	48	1,17	2,61	7,57	18,9	30	40,62	59,41
Total	59	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		8,5	7,76	8,43	9,28	9,03	9,36	10,26

Diâmetro caulinar								
F. variação	GL	DAT						
		3	10	17	24	31	38	45
L. Irrig. (F1)	2	0,01 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	3,60**	6,80**	12,25**	12,66**
C. Sais (F2)	3	0,04 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	2,39**	12,59**	19,57**	16,63**
Inter. F1 x F2	6	0,02 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>
Resíduo	48	0,02	0,1	0,2	0,23	0,3	0,244	1,1
Total	59	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		7,46	9,39	8,88	7,41	6,91	6,1	12,01

Número de folhas								
F. variação	GL	DAT						
		3	10	17	24	31	38	45
L. Irrig. (F1)	2	0,17 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	9,26 <sup>ns</sup>	110,05**	179,8**	465,4**	259,6**
C. Sais (F2)	3	0,30 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	61,5**	246,7**	253,3**	354,2**
Inter. F1 x F2	6	0,31 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	6,01 <sup>ns</sup>	3,18 <sup>ns</sup>	67,8 <sup>ns</sup>	18,15 <sup>ns</sup>	29,7 <sup>ns</sup>
Resíduo	48	0,17	0,14	3,45	7,02	9,12	10,99	27,5
Total	59	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		9,08	4,83	14,95	13,03	12,47	12,81	25,29

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ); ns não significativo ( $p \geq .05$ )

Comparando-se com as avaliações anteriores, houve um aumento na altura do algodoeiro (AP) ao longo do tempo para todas as lâminas de irrigação aplicadas. Isso indica que, mesmo sobre estresse hídrico, o algodoeiro não cessou seu crescimento. Ainda quanto ao efeito do déficit hídrico mesmo as plantas continuando o seu crescimento esses foram menores em comparação com as lâminas de 100 e 130% da DHC a partir do 17 DAT (Tabela 3.8)

**Tabela 3.8** - Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), e número de folhas (NF) de algodoeiro submetido aos efeitos isolados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária.

Altura das plantas (AP)							
DAT							
L de irrigação	3	10	17	24	31	38	45
70% DHC	12,56a	20,75 <sup>a</sup>	32,86a	42,97b	54,70b	59,85c	66,25b
100% DHC	12,96a	20,73 <sup>a</sup>	32,98a	47,80a	62,00a	69,70b	76,65a
130% DHC	12,91a	21,05 <sup>a</sup>	32,07a	50,13a	65,27a	74,71a	81,97a
DMS	0,83	1,23	2,1	3,33	4,18	4,87	5,89
Diâmetro caulinar (DC)							
DAT							
L de irrigação	3	10	17	24	31	38	45
70% DHC	2,24a	3,39 <sup>a</sup>	4,98 <sup>a</sup>	6,10b	7,34b	7,24c	7,88b
100% DHC	2,29a	3,50 <sup>a</sup>	5,30 <sup>a</sup>	6,79a	8,09a	8,30b	9,02a
130% DHC	2,24a	3,47 <sup>a</sup>	5,01 <sup>a</sup>	6,88a	8,49a	8,77a	9,41a
DMS	0,12	0,24	0,34	0,37	0,42	0,37	0,8
Número de folhas							
DAT							
L de irrigação	3	10	17	24	31	38	45
70% DHC	4,67a	7,85 <sup>a</sup>	12,10a	17,62b	21,72b	20,47b	16,82b
100% DHC	4,65a	7,87 <sup>a</sup>	13,40a	21,72a	27,55a	27,47a	21,55a
130% DHC	4,50a	7,82 <sup>a</sup>	12,40a	21,65a	23,40b	29,72a	23,90a
DMS	0,31	0,28	1,44	2,02	2,31	2,53	4,01

DMS – Diferença mínima significativa; Letras minúsculas representam diferenças entre as médias pelo teste de Tukey.

Seguindo o comportamento da altura das plantas o diâmetro caulinar (DC) e a emissão foliar começaram a sofrer influência do déficit hídrico entre o 17º e o 24º DAT. Até o 45º DAT, também não foi demonstrada interação entre os estresses que impactasse sobre as variáveis (Tabela 3.7). Em termos de médias, para ambas as variáveis, as plantas sob déficit hídrico mantiveram o diâmetro do caule e a emissão foliar inferiores quando comparadas com as demais lâminas (Tabela 3.8). O número de folhas aos 45 DAT comparada com a avaliação anterior (38 DAT), foi ligeiramente inferior em todos os tratamentos, sendo mais acentuada a queda de folhas no tratamento sob déficit hídrico, que foi devido a uma maior senescência e abscisão de folhas.

A redução do crescimento (altura e diâmetro do caule) deu-se como efeito secundário do déficit hídrico. A redução da turgescência em resposta ao déficit, provocou o decréscimo da expansão e da divisão foliar (TAIZ; ZAIGER, 2013). A redução da emissão foliar em situações de deficiência de água é uma resposta fisiológica que resulta na diminuição da superfície transpiratória e de modo indireto, na conservação da água no

solo, o que gera economia de água para períodos posteriores (SANTOS e CARLESSO 1998; TAIZ e ZEIGER 2004).

Com exceção da altura e diâmetro aos 38 DAT, a AP, o DC e NF, nas plantas sob lâminas de 100 e 130% da DHC não diferiram entre si, estando em concordância com Beltrão (1997), quando demonstrou não haver incrementos no crescimento do algodoeiro (Cultivar CNPA acala 1) com lâminas excessivas.

Trabalhando com algodão (CRI 49) sob regime de déficit hídrico, Zang *et al.* (2016) observaram uma redução da altura da planta com a diminuição do regime de irrigação. No trabalho de Zang *et al.* (2016), comparando com irrigação regular (sem déficit), a irrigação com saturação aumentou a altura da planta em 4,1% e reduziu o diâmetro do caule em 5,4%, enquanto a irrigação deficitária diminuiu a altura da planta em 3,2% e aumentou o diâmetro do caule em 5,4%. Estes resultados corroboram com o presente estudos quanto à altura das plantas, mais o efeito sobre o aumento do diâmetro caulinar não foi observado por Zang *et al.* (2016).

Salientado novamente os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento da cultura, Yang *et al.*, (2015) observaram que a altura do algodoeiro (cv. Xinluzao 7), reduziu com a diminuição da irrigação. Nesse estudo, os tratamentos de 100, 85, 70, 55 e 45 da evapotranspiração (ET), a altura da planta alcançou os valores de 62, 64, 47, 43 e 42 cm, respectivamente, em 2010 e 51,55, 45, 43 e 33 cm em 2011. Neste caso, não se observou alterações significativas entre a altura do algodoeiro sob irrigação regular (100% ET) e com déficit de até 15%. Estudos similares (DAGDELEN *et al.*, 2006, 2009; DETAR, 2008; OWEIS *et al.*, 2011; UNLÜÜ *et al.*, 2011; KANG *et al.*, 2012; BALDO *et al.* 2009 e SOBRINHO *et al.*, 2007.), corroboram sobre os efeitos adversos de estresse hídrico no crescimento do algodão. Comparando com os resultados do presente estudo, mesmo na lâmina com déficit (70% da DHC), os valores de altura foram superiores aos obtidos por Yang *et al.*, (2015), o que pode ser atribuída às diferenças nas condições climáticas e também do material genético utilizado nos dois estudos.

De maneira geral o algodão é uma cultura consideravelmente tolerante à seca, porém, em déficits mais severos, observa-se impacto significativo na sua produção e qualidade. A irrigação adequada é um dos meios mais eficazes para promover o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como o rendimento e qualidade do algodão (GUO *et al.*, 2015 e ZHOU *et al.*, 2012). Diversos autores relatam que as práticas de irrigação deficientes podem causar um declínio significativo nos parâmetros de crescimento vegetativo de algodão (IBRAGIMOV *et al.*, 2007, DAGDELEN *et al.*, 2009

e ÜNLÜ *et al.*, 2011). Por outro lado, a irrigação excessiva pode provocar um aumento no crescimento vegetativo e uma diminuição no rendimento (GUINN *et al.*, 1981, ERTEK: KANBER, 2003 e KARAM *et al.*, 2006).

Esses efeitos da condição hídrica sobre o crescimento vegetativo e o rendimento foram observados por Kang *et al.* (2012). Trabalhando com aplicação de 5 condições hídricas em algodoeiro (-10 kPa, -20 kPa, -30 kPa, -40 kPa e -50 kPa), os autores observaram, no híbrido Xinluzhong 26 de algodoeiro, que as variáveis vegetativas (variáveis de crescimento) apresentaram maiores valores nos tratamentos de -10 kPa e -20 kPa, enquanto que os parâmetros reprodutivos não seguiram a mesma tendência, tendo o rendimento diminuído a partir de -30 kPa. Resultados semelhantes também foram encontrados por Wanjura *et al.* (2002).

Em relação à salinidade da água de irrigação, foi possível observar uma redução nas variáveis de crescimento em decorrência do aumento da concentração de sais, também entre o 17º e o 24º DAT, tendo havido ajuste a modelos matemáticos lineares decrescentes (Tabela 3.9).

Em vários trabalhos têm-se verificado que o aumento no conteúdo de sais no solo, causado pela irrigação com água de elevado teor salino, provoca diminuição da altura das plantas do algodoeiro: Oliveira *et al.* (1998), Nunes Filho, (1993); Jácome, (1999), obtiveram respostas lineares desta variável, observando-se redução na altura do algodoeiro de fibra branca quando houve um incremento na concentração de sais, comportamento também corroborado neste trabalho.

Pedro *et al.* (2016), trabalhando com 6 genótipos de algodoeiro (FM 910, FM 980 GLT, TMG 42 WS, TMG 82 WS, DP 1240 B2RR e DP 1228 B2R) e cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0,0; 2,5; 5,0, 10,0 e 20,0 dS m<sup>-1</sup>), observaram que as alturas das “plântulas” de algodão foram afetadas negativamente pelos níveis de salinidade. Observou-se os maiores valores destes parâmetros, nos tratamentos com a adição de 2,5 dS m<sup>-1</sup> em todos cultivares e, 5,0 dS m<sup>-1</sup> para os cultivares DP 1240 B2RR e FM 910. Nas concentrações de 10,0 e 20,0 dS m<sup>-1</sup> relativamente não houve crescimento das plântulas de algodão.

Apresentando o mesmo comportamento da altura, o diâmetro caulinar, ao final do experimento, também decresceu em função do aumento da concentração de sais na água de irrigação, apresentando uma redução de 0,33 mm para cada incremento de 1 dS m<sup>-1</sup> de água aplicado e tendo ajuste de 86%. Bernardi *et al.* (2000) citam que o diâmetro do caule tem relação direta com a altura das plantas.

Pereira (2012), trabalhando com 10 genótipos de algodão (BRS Rubi; BRS Safira; BRS verde; BRS Topázio; CNPA/2009-06, CNPA/2009-11; CNPA/2009-13; CNPA/2009-50; CNPA/2009-27; CNPA/2009-42) e avaliando a evolução do diâmetro caulinar em função da salinidade ao longo do tempo, demonstraram que a salinidade provocou reduções nessa variável. Também foi demonstrado que o diâmetro do caule foi pouco expressivo com o aumento do tempo de cultivo sugerindo que, com o avanço da época, o diâmetro caulinar é a variável menos prejudicada pela salinidade.

A emissão foliar também foi prejudicada pela irrigação com água salina. Esses resultados concordam com os obtidos por Siqueira et al. (2005), que estudando o crescimento do algodoeiro de fibra colorida em condições salinas, verificaram redução de 40,7% no número de folhas para plantas irrigadas com água de condutividade elétrica de 6,5 dS m<sup>-1</sup>.

Trabalhando com 10 genótipo de algodão (BRS Rubi; BRS Safira; BRS verde; BRS Topázio; CNPA/2009-06, CNPA/2009-11; CNPA/2009-13; CNPA/2009-50; CNPA/2009-27; CNPA/2009-42), Pereira (2012) observou que todos os genótipos do algodoeiro foram afetados negativamente pela irrigação com água salina (5,0 dSm<sup>-1</sup>) aos 43 dias de estresse, reduzindo a emissão foliar. Por sua vez, Siqueira (2003), ao estudar o número de folhas da linhagem CNPA/2202/26 de algodoeiro colorido, verificou intensificação dos efeitos da salinidade e decréscimo no número de folhas a partir de 3,50 dSm<sup>-1</sup> na água de irrigação. Nunes Filho (1993), Oliveira et al. (1998) e Jácome (1999) também verificaram redução na emissão de folhas de algodoeiro de fibra branca, em função do aumento da salinidade do solo e da água de irrigação.

**Tabela 3.9-** Regressões e coeficiente de determinação para altura, diâmetro caulinar e número de folhas de algodoeiro irrigado com lâminas de irrigação excessiva e deficitária (70, 100 e 130% da DHC) sob diferentes concentrações de sais da água de irrigação e ao longo dos dias de aplicação dos tratamentos (DAT).

DAT	Altura		Diâmetro caulinar		Número de folhas	
	Regressão	R <sup>2</sup>	Regressão	R <sup>2</sup>	Regressão	R <sup>2</sup>
3	$y = 0,0658x + 12,524$	0,6500	$y = -0,0109x + 2,3047$	0,1592	$y = 0,0447x + 4,4351$	0,9092
10	$y = 0,0658x + 12,524$	0,0936	$y = -0,0034x + 3,4428$	0,0167	$y = -0,0247x + 7,9623$	0,3614
17	$y = -0,0637x + 32,888$	0,4533	$y = -0,0598x + 5,2901$	0,7297	$y = 0,0283x + 12,524$	0,2035
24	$y = -0,6701x + 49,705$	0,9789	$y = -0,1197x + 6,7702$	0,9704	$y = -0,734x + 23,614$	0,9463
31	$y = -1,4472x + 66,477$	0,9208	$y = -0,139x + 8,1334$	0,8961	$y = -0,8548x + 29,479$	0,9714
38	$y = -2,1053x + 76,195$	0,9852	$y = -0,1663x + 8,2402$	0,8106	$y = -1,7619x + 34,121$	0,9398
45	$y = -2,2609x + 85,323$	0,9998	$y = -0,2257x + 8,8811$	0,9209	$y = -2,6572x + 41,343$	0,9562

A redução no número de folhas é uma das alterações fisiológicas do estresse hídrico, provocado pela redução no potencial hídrico, e a maior produção endógena de hormônios vegetais, como o ácido abscísico e o etileno, e na presença desses compostos há maior senescência e abscisão foliar, comportamento semelhante ao observado por Carlesso *et al.* (2007) e Baldo *et al.* (2009).

A inibição desse crescimento nas plantas em ambientes com salinidade é atribuída ao déficit hídrico causado pelo excesso de sais solúveis na zona radicular, o qual causa um decréscimo na turgescência e resulta na diminuição da expansão celular, reduzindo a taxa de crescimento das plantas (BAI *et al.*, 2008; KHALID e SILVA, 2010). Essa redução do crescimento pode ainda ser explicada por limitações fotossintéticas, resultantes do fechamento estomático, e concomitantemente menor assimilação de CO<sub>2</sub>, (DEBEZ *et al.*, 2008; TAARIT *et al.*, 2010). Além disso, podem estar associadas ao gasto energético envolvido na síntese de solutos orgânicos, necessários aos processos de compartimentação e regulação do transporte de íons (MENDONÇA *et al.*, 2007).

### 3.3 Área foliar e área foliar específica

As lâminas de irrigação influenciaram significativamente a área foliar (AF) e área foliar específica (AFE). A interação entre lâminas de irrigação e a concentração de sais na água de irrigação não foi significativa para essas variáveis (Tabela 3.10).

**Tabela 3.10** – Resumo da análise de variância. Quadrados médios de área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação.

F. Variação	GL	AF	AFE
L. Irrigação (F1)	2	2616144,34**	167526,9*
C. Sais (F2)	3	2622774,93**	190110,0*
Inter. F1 x F2	6	338856,24 <sup>ns</sup>	12180,0 <sup>ns</sup>
Resíduo	48	204775,06	3631,95
Total	59	-	-
CV (%)	-	17,53	23,23

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 = < p < .05$ ); ns não significativo ( $p \geq .05$ )

A área foliar do algodoeiro foi significativamente reduzida na condição de déficit hídrico (reduzindo 15% em relação a lâmina de 100% da DHC e cerca de 25% na lâmina excessiva), não diferindo entre si nas lâminas de 100 e 130% da DHC (Tabela

3.11). Essa redução da área foliar na condição de déficit hídrico está associada aos efeitos sobre a divisão celular e, ou à redução de turgescência celular e alterações nas propriedades da parede celular que limitam a expansão das células. (PARIDA e DAS, 2005; TAIZ e ZEIGER, 2013). No que diz respeito a área foliar específica, usando o teste de Tukey não foi possível observar influencia das lâminas de irrigação (Tabela 3.11).

**Tabela 3.11** – Área foliar (AF) e área foliar específica (AFE) do algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária. Letras minúsculas representam diferenças entre as médias pelo teste de Tukey.

L. Irrigação	AF	AFE
	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
70% da DHC	2205,56b	529,50b
100% da DHC	2611,12a	631,12ab
130% da DHC	2927,05a	712,08a
DMS	346,05	143,71

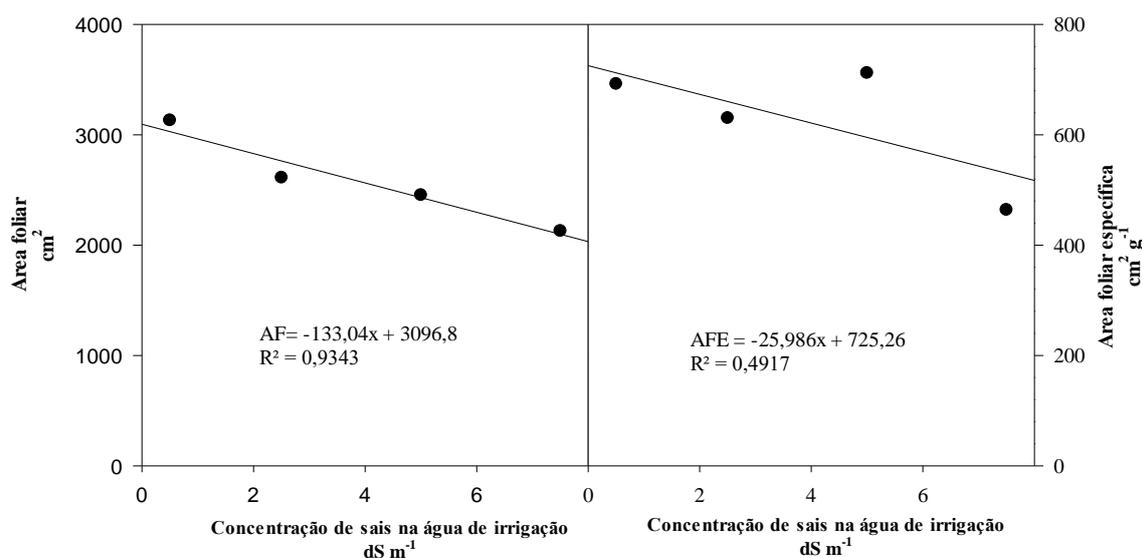
DMS – Diferença mínima significativa; Letras minúsculas representam diferenças entre as médias nas colunas pelo teste de Tukey.

Esses resultados são corroborados por Wang *et al.*, (2016), que observaram redução da área foliar do algodoeiro (cv. Siza 3), exposto a três diferentes percentuais de água no solo (75, 60 e 45%) na fase de abertura dos botões florais. Esses autores obtiveram valores de 0,2 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, nas plantas sob maior estresse e 0,5 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, nas plantas menos estressadas, após 50 dias de submissão aos tratamentos. Estes valores estão em acordo com o presente estudo na tendência de redução da área foliar; no entanto, em termos de grandeza, se observa grande diferença, para o menor conteúdo de água no solo, pois no trabalho de Wang *et al.* (2016) o estresse foi aplicado na fase de reprodução, quando a planta inicialmente já possuía maior área foliar. No tratamento do menor conteúdo de água no solo, foi observada senescência e abscisão de folhas.

Conforme Santos e Carlesso (1998) e Taiz e Zeiger (2004), a resposta mais proeminente da maioria das plantas à deficiência hídrica, consiste no decréscimo da produção da área foliar, no fechamento dos estômatos, e na aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são expostas a situações de deficiência de água, exibem frequentemente respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, o que gera economia de água para períodos posteriores, diminuindo a superfície transpiratória, no caso de perda de folhas, ou no simples fato de parar o crescimento foliar, reduzindo a área foliar e mantendo o peso da parte aérea.

No que se refere aos efeitos da salinidade, a área foliar e a área foliar específica ajustaram-se a modelos matemáticos de regressão linear; verificou-se que houve decréscimo dos seus valores médios de 133,04 cm<sup>2</sup> e 25,98 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> por aumento unitário dos níveis de sais solúveis na água de irrigação, verificando-se um coeficiente de determinação da ordem de 0,93 e 0,49 para AF e AFE, respectivamente (Figura 3.2).

**Figura 3.2** – Área foliar e área foliar específica do algodoeiro do algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.



A redução da área foliar em função do aumento da CEa, observada na Figura 3.6, constitui uma das respostas iniciais da planta ao estresse salino e tem sido atribuída à diminuição na divisão celular e expansão da superfície da folha, que ocorre nas fases iniciais da exposição ao estresse salino (PARIDA; DAS, 2005). Com o aumento da concentração de sais, o potencial osmótico da solução do solo se torna mais negativo, dificultando o fluxo de água no sistema solo-planta (TESTER; DAVENPORT, 2003). Assim, sob estresse salino, as plantas atrasam a emissão de folhas e desativam parte de sua área foliar, através da abscisão foliar, o que ocorreu no presente estudo, na tentativa de reduzir a perda de água por transpiração, diminuindo, conseqüentemente, a assimilação de carbono e a produção (NETO *et al.*, 2007). A estratégia de redução da área foliar é considerada uma defesa imediata e eficiente contra o déficit hídrico (CRUZ *et al.*, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2010).

A redução linear da área foliar em função da concentração de sais da água de irrigação, também foi observada por Oliveira *et al.* (2008), quando avaliaram os efeitos da irrigação com água salobra no desenvolvimento inicial de três cultivares de algodão.

Essa redução também foi observada por Junior *et al.*, (2005) que observaram uma redução de  $184,75 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$  para cada unidade de CE aplicada até  $9,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Esses resultados também estão em concordância com Sousa *et al.*, (2010), ao avaliar a cultivar BRS 113 do algodoeiro sobre 0,5; 4,0 e  $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ , que observaram uma redução de 18 e 35% na área foliar para 4,0 e  $8,0 \text{ dS m}^{-1}$  em comparação com o tratamento de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ , respectivamente.

Como a salinidade, em geral, demonstra sintomas morfológicos similares ao do estresse hídrico (OLIVEIRA *et al.* 2012), pode-se considerar que a redução da expansão foliar pode ser uma estratégia de sobrevivência capaz de possibilitar a conservação de água em períodos críticos, uma vez que uma menor superfície foliar resulta em redução do total de água transpirada (TAIZ; ZEIGER, 2013). Mesquita *et al.* (2012) citam ainda que a redução da área foliar é também conveniente às plantas, por provocar diminuição do carregamento de  $\text{Na}^+$  e de  $\text{Cl}^-$  no xilema, além de possibilitar a conservação da água nos tecidos vegetais.

Seguindo a mesma tendência que a AF, a AFE foi reduzida. Neste caso, tanto a matéria seca das folhas foi reduzida pela salinidade quanto a área foliar em si. Esse resultado discorda de Oliveira *et al.* (2012), que trabalhando com a cultivar NuOpal, verificaram que a salinidade da água (até  $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) não afetou a AFE, sendo obtido valor médio de  $127,1 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  (muito abaixo dos encontrados nesse ensaio, devido a mensuração ter ocorrido em estádios iniciais). Sousa *et al.* (2010) também não observaram essa redução em função da salinidade aplicada (0,5; 4,0 e  $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) para a cultivar BRS 113 do algodoeiro. Essa resposta é apontada pelos autores, como efeito proporcional da salinidade na expansão do limbo foliar, bem como sobre a produção de fitomassa, visto que, a AFE expressa a espessura da folha.

### **3.4 Produção de matéria seca.**

A análise de variância para partição de matéria seca do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina encontra-se apresentados na Tabela 3.12. A produção de massa seca total, matéria seca das folhas, flores e caules foram influenciados pela interação das lâminas de irrigação e concentrações de sais na água de irrigação. A matéria seca de capulhos (MSCa) e razão matéria seca da parte aérea e matéria seca de

raízes (MSPA/MSR) foi influenciadas pelos estresses isolados. A matéria seca de raiz (MSR) não sofreu influência de ambos estresses.

A produção total de matéria seca total do algodoeiro (MST) foi significativamente reduzida quando submetido ao déficit hídrico e ao estresse salino. Foi possível observar através das regressões (Figura 3.3 C) que para cada unidade de sais aplicada houve uma redução de 1,63; 1,57; e 2,24 g de MST para as lâminas de 70, 100 e 130% da capacidade de campo

Os resultados para matéria seca de folhas (Figura 3.3A) e caules (Figura 3.3B) do algodoeiro seguiram a mesma tendência da MST, mostrando que os estresses interagiram na redução da biomassa. A elucidação das respostas fisiológicas e bioquímicas desencadeadas pelos dois estresses ocorrendo simultaneamente carece de muitos estudos, uma vez que, ambos provocam redução do potencial hídrico, necessitando lançar mão de uma osmorregulação celular, entretanto, os próprios íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  podem ajudar nessa osmorregulação, com a expressão de mecanismos adaptativos que impedem a redução da fotossíntese, as alterações na translocação e na distribuição de fotoassimilados e queda de rendimento. Esses eventos têm importância significativa no crescimento e desenvolvimento normal da planta e, conseqüentemente, na produtividade das culturas (SALAZAR, 2016).

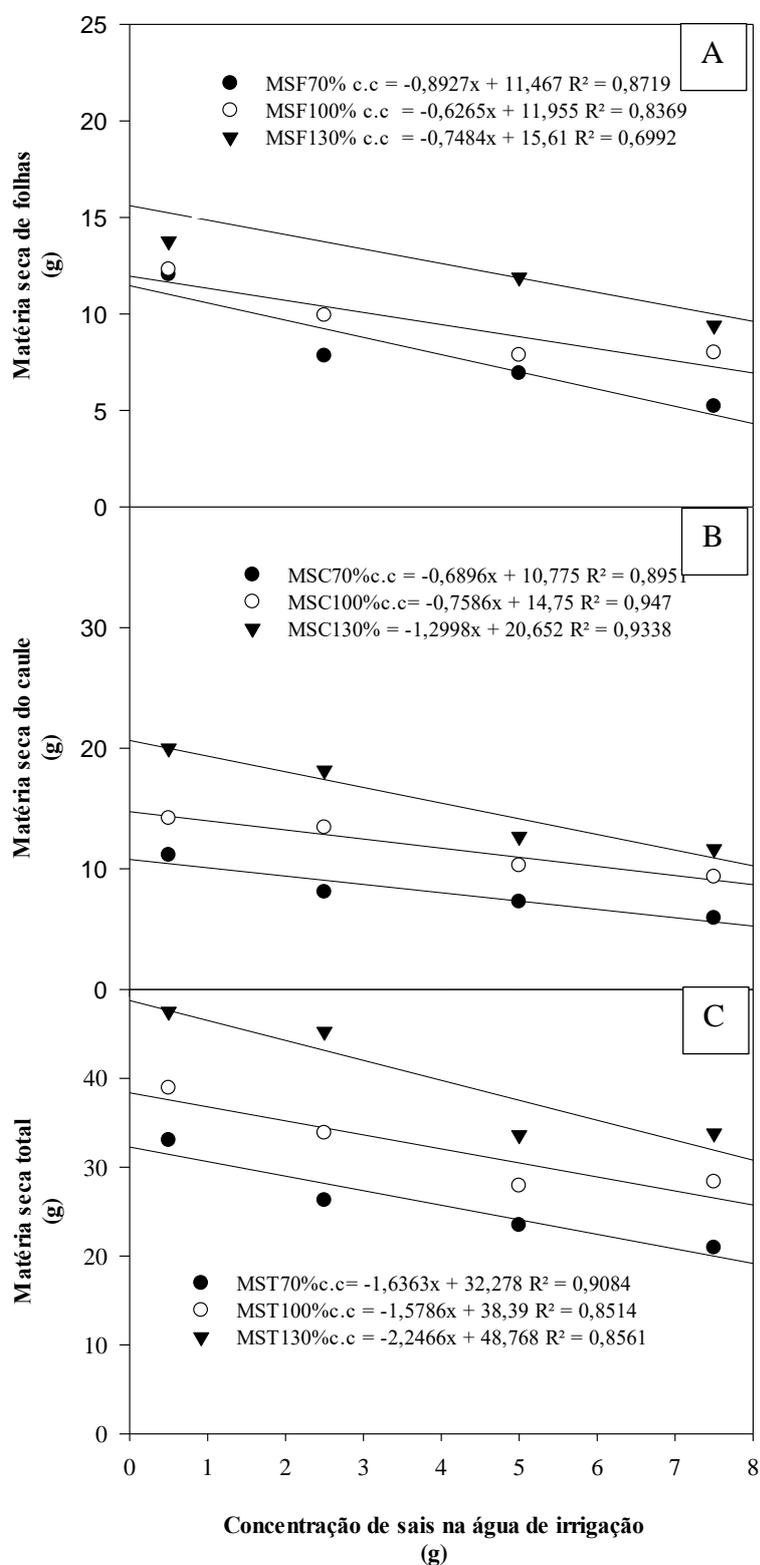
As associações entre fatores em estudo sinalizam o provável sinergismo existente entre o favorecimento hídrico e a salinidade, no tocante à acumulação de biomassa seca total, biomassa seca de folhas e caule, haja vista que o incremento no nível salino foi menos sentido nas maiores lâminas aplicadas. No entanto, a resposta completa das plantas às condições de estresse abiótico, como a seca e a salinidade, não tem sido sistematicamente elucidada. É sabido apenas que estresse por seca e salinidade desencadeia vários eventos de interação incluindo a inibição de atividades enzimáticas em vias metabólicas (BINZEL; REUVENI, 1994; TSUGANE *et al.*, 1999).

**Tabela 3.12** Resumo da análise de variância. Quadrados médios de matéria seca do caule (MSC), matéria seca de capulhos (MSCa), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de flores (MSFL), matéria seca total (MST), e razão matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes (MSPA/MSR) de plantas de algodão submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de sais na água de irrigação.

F. Variação	GL	MSC	MSCa	MSF	MSFL	MSR	MST	MSPA/MSR
L. Irrigação (F1)	2	281,31**	29,92**	115,12**	0,62**	0,015*	1001,06**	32,87**
C. Sais (F2)	3	119,23**	5,71**	75,52**	0,09 <sup>ns</sup>	2,465 <sup>ns</sup>	503,43**	12,31**
Inter. F1 x F2	6	7,86*	1,65 <sup>ns</sup>	12,62**	0,16*	1,33 <sup>ns</sup>	19,78*	5,87 <sup>ns</sup>
Resíduo	49	2,57	1,13	3,46	0,057	0,80	8,31	2,86
Total	59	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	13,55	19,39	18,45	21,16	20,72	8,80	25,69

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ). \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ). <sup>ns</sup> não significativo ( $p \geq .05$ )

**Figura 3.3** - Matéria seca de folhas (A), matéria seca de caule (B) e matéria seca total (C) de plantas de algodão submetidos aos efeitos isolados e combinados de lâmina de irrigação excessiva e deficitária e irrigação com diferentes concentrações de sais na água.



A produção de matéria seca de capulhos (MSCa) foi significativamente reduzida na condição de déficit hídrico (-25%) e incrementada na maior lâmina de irrigação (+17%) (Tabela 3.13). Na literatura é relatado que os capulhos são menos afetadas pelo déficit hídrico e mantêm o crescimento após as folhas e entrenós terem parado de crescer. Isso ocorre porque a água é fornecida às maçãs pelo floema e não pelo xilema; logo, não é dependente do gradiente de potencial hídrico entre a planta e o solo ou atmosfera. Os capulhos também exigem um menor  $\Psi$  para cessar o crescimento e podem manter o  $\Psi$  entre -0,3 e -0,5 MPa mais baixo que as folhas, contudo, o prolongamento do estresse acarreta abscisão das maçãs em formação, sem queda de frutos após esse período (MCMICHAEL *et al.*, 1973). A deficiência hídrica tem sido considerada um dos principais fatores ambientais que provocam a abscisão de estruturas reprodutivas em algodoeiro (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Por outro lado, Arruda *et al.* (2002) comentam que a deficiência hídrica induzida na fase de botão floral prejudica significativamente a produção de estruturas reprodutivas de algodão. Por isso, as plantas para sobreviverem em ambientes estressantes, não produzem o máximo que podem, ao contrário, elas têm que encontrar um equilíbrio entre rendimento e sobrevivência. Os autores sugerem que plantas que não são especializadas em se desenvolver em ambientes com deficiência hídrica, crescem vagarosamente e normalmente apresentam um porte pequeno. Essa estratégia permite à planta desenvolver-se em ambientes limitantes com restrições, mas utilizando ao máximo todos os recursos disponibilizados pelo ambiente.

**Tabela 3.13** – Matéria seca de capulhos (MSCa), matéria seca de raízes (MSR) e razão matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes (MSPA/MSR) de algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária. Letras minúsculas representam diferenças entre as médias pelo teste de Tukey.

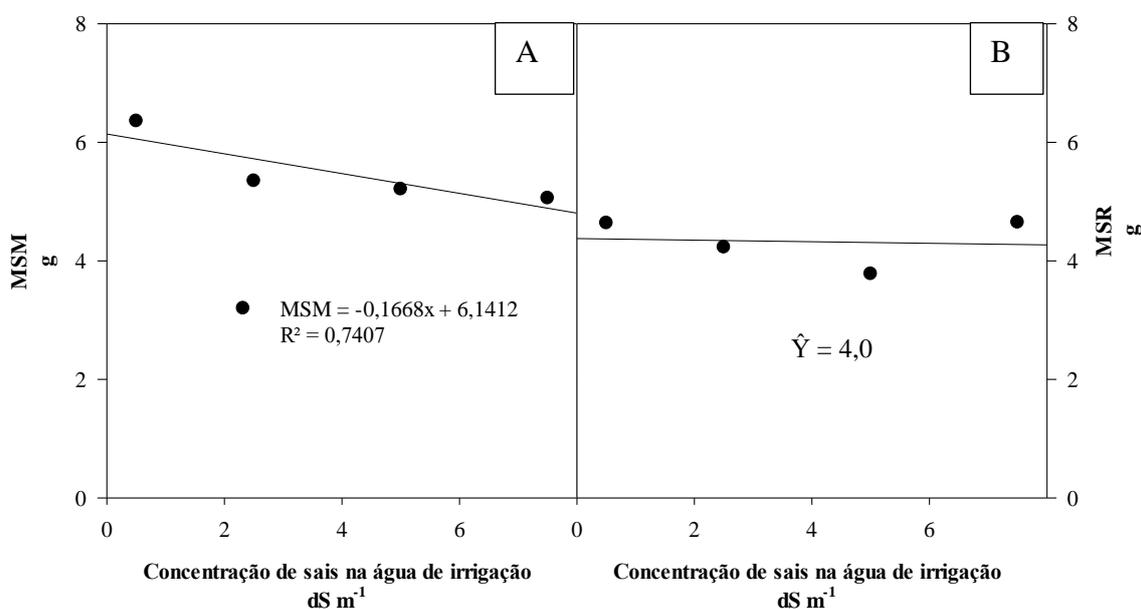
L. Irrigação	MSCa	MSR	MSPA/MSR
	g	G	-
70% da DHC	4,20c	4,30 <sup>a</sup>	5,26b
100% da DHC	5,65b	4,31 <sup>a</sup>	6,54a
130% da DHC	6,64a	4,35 <sup>a</sup>	7,83a
DMS	0,815	0,68	1,29

DMS – Diferença mínima significativa; Letras minúsculas representam diferenças entre as médias nas colunas pelo teste de Tukey.

Quanto à salinidade da água de irrigação, a matéria seca de capulhos ajustaram-se a modelo matemático linear decrescente, tendo um ajuste de 70% (Figura

3.4). Essa redução na biomassa de capulhos do algodão é uma resposta, em sua maior parte, aos efeitos osmóticos, que restringem a absorção de água causada pela alta concentração de sais solúveis no solo, bem como a entrada de íons em uma quantidade suficiente para causar toxicidade, causando desequilíbrio na absorção de nutrientes, levando a uma redução generalizada no seu crescimento, com graves perdas nas produções das culturas.

**Figura 3.4** – Produção de biomassa seca de capulhos (MSCa), e produção de biomassa de raízes (MSR) pelo algodoeiro em função da concentração de sais na água de irrigação.



A biomassa seca de raízes, não foi influenciada pelos estresses (Tabela 3.12 e Figura 3.4 B). Contrariando os resultados obtidos nesse estudo, Hartung (1996) afirma que o déficit hídrico provoca inicialmente redução no desenvolvimento da raiz; no entanto, em condições de seca moderada, ocorre o desenvolvimento de uma raiz mais forte. Se as condições de seca continuam, a inibição do crescimento radicular aumenta, especialmente quando nas raízes acumula-se ABA. Posteriormente, a ação conjunta do ABA e o estresse induzem o desenvolvimento das raízes adventícias, o que torna possível que os pelos radiculares e as raízes muito finas explorem maior volume de solo para encontrar a umidade.

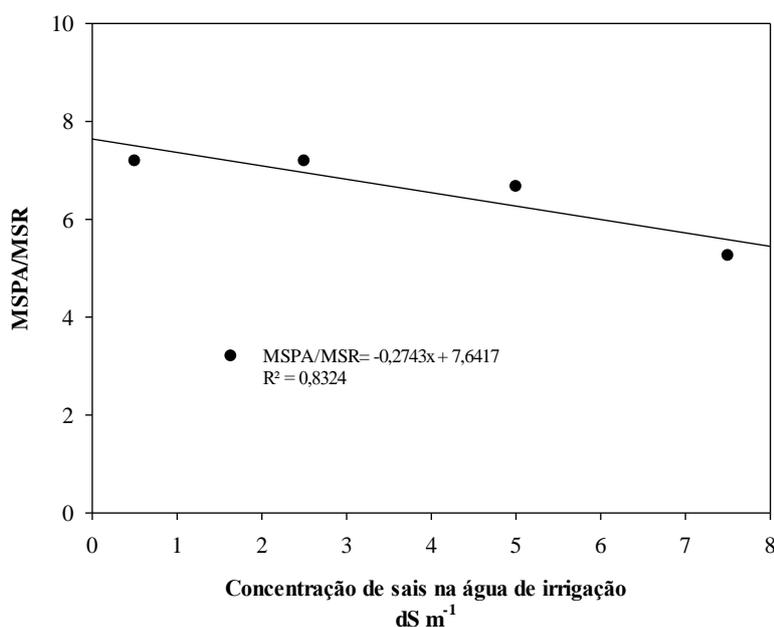
A relação entre de matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes (MSPA/MSR) foi influenciada significativamente pelo estresse hídrico (Tabela 3.13), reduzindo cerca de 20% quando comparadas a ótima condição de irrigação. Tendo esta, por sua vez, não diferido da lâmina de 130% da DHC. As diferenças apresentadas na

MSPA/MSR deveram-se a uma redução na MSPA, uma vez que a MSR não foi influenciada pelo estresse. Esses resultados são corroborados por Wang *et al.*, (2016) que observam mudanças na relação raiz/parte área do algodoeiro (cv. Siza 3), expostos a três diferentes percentuais de água no solo 75, 60 e 45%, tendo o estresse iniciado na fase de abertura dos botões florais.

Sob deficiência hídrica, as plantas apresentam mudanças nos padrões de partição de biomassa seca, muitas vezes acarretando incrementos na relação raiz/parte aérea, o que é atribuído à grande alocação de carbono às raízes. A deficiência hídrica atua em todo o crescimento da planta, restringindo o potencial de crescimento na parte aérea, contudo, comprometendo em menor proporção o crescimento das raízes, na tentativa de explorar um maior volume de solo e de alcançar água em maiores profundidades (SANTOS *et al.*, 2012).

No tocante a salinidade, a MSPA/MSR decresceu linearmente em função da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 3.5), essa redução acentuada deu-se principalmente pela redução de MSC e MSF, como estratégia para reduzir a superfície transpirante. O aumento de sais na água de irrigação alterou o particionamento de massa seca na planta, estabelecendo uma competição pela distribuição de fotoassimilados entre a parte aérea e as raízes da planta. Como consequência, verificou-se redução na partição de massa seca da parte aérea e inalterabilidade da MSR.

**Figura 3.5** - Razão matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes (MSPA/MSR) de algodoeiro em função da concentração de sais na água de irrigação.



### 3.5 Tolerância à salinidade

A tolerância de uma cultura à salinidade reflete a sua capacidade de suportar os efeitos do excesso de sais na zona radicular, sendo variável com fatores do solo e do clima (QADIR et al., 2008). Portanto, a tolerância à salinidade é descrita em termos relativos e, geralmente, dividida em quatro classes: tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente sensível e sensível (MAAS e HOFFMAN, 1977; FAGERIA et al., 2010).

A cultura do algodoeiro, apesar de ser considerada tolerante à salinidade, pode sofrer reduções substanciais no crescimento e produção, quando submetida ao elevado estresse salino. Esta situação evidencia que as respostas à salinidade variam de acordo com o genótipo e o estágio de desenvolvimento da planta (FAGERIA; GHEYI, 1997).

Quanto a tolerância a salinidade essas variaram de tolerante a moderadamente sensível conforme a lâmina aplicada (Tabela 3.14), considerando-se a lâmina de 100% e o menor nível de salinidade com ponto de referência. Foi possível observar que sob efeito da menor lâmina aplicada, os efeitos da salinidade foram mais acentuados na redução percentual das variáveis (altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas, área foliar e matéria seca total), e que na lâmina de 130% da DHC o efeito diluição dos sais ajudaram a mitigar os impactos da irrigação com água salina. Foi possível observar que as variáveis que apresentaram maior sensibilidade a salinidade foi área foliar e emissão de folhar, tendo sua sensibilidade acentuada na condição de déficit hídrico.

Na cultura do coco, Silva (2015) encontraram resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo. O referido autor, estudando as interações entre deficiência hídrica e salinidade do solo, na cultura do coqueiro, constatou que as plantas cultivadas em solo não salino são moderadamente susceptíveis à salinidade, quando associado a outro fator estressante, o estresse hídrico, sob lâmina de irrigação de 20% da evapotranspiração potencial da cultura. Para o autor, em termos gerais, as plantas se mostraram moderadamente tolerantes aos efeitos da salinidade do solo, porém o estresse hídrico foi capaz de acentuar a susceptibilidade à salinidade, principalmente, nos níveis mais severos de deficiência hídrica, atribuindo as plantas moderada suscetibilidade.

**Tabela 3.14** – Índices de tolerância a salinidade baseados na redução percentual da altura da planta (RPAP), Diâmetro caulinar (RPDC), número de folhas (RPNF), área foliar (RPAF) e matéria seca total (RPMST) e classificados por Fageria, Soares Filho e Gheyi (2010). em algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas excessivas e deficitárias e diferentes concentrações de água salina.

Variáveis	70% DHC				100% DHC				130% DHC			
	dS m <sup>-1</sup>											
	0,5	2,5	5,0	7,5	0,5	2,5	5,0	7,5	0,5	2,5	5,0	7,5
RPAP	0,00 <sup>T</sup>	12,50 <sup>T</sup>	16,05 <sup>T</sup>	20,00 <sup>T</sup>	0,00 <sup>T</sup>	7,44 <sup>T</sup>	12,41 <sup>T</sup>	17,73 <sup>T</sup>	0,00 <sup>T</sup>	0,00 <sup>T</sup>	17,18 <sup>T</sup>	19,84 <sup>T</sup>
RPDC	0,00 <sup>T</sup>	21,85 <sup>MT</sup>	24,43 <sup>MT</sup>	30,18 <sup>MT</sup>	0,00 <sup>T</sup>	15,10 <sup>T</sup>	18,06 <sup>T</sup>	21,89 <sup>MT</sup>	0,00 <sup>T</sup>	8,06 <sup>T</sup>	8,54 <sup>T</sup>	22,16 <sup>MT</sup>
RPNF	0,00 <sup>T</sup>	37,65 <sup>MT</sup>	45,34 <sup>MS</sup>	44,52 <sup>MS</sup>	0,00 <sup>T</sup>	4,94 <sup>T</sup>	25,09 <sup>MT</sup>	42,20 <sup>MS</sup>	0,00 <sup>T</sup>	2,08 <sup>T</sup>	34,37 <sup>MT</sup>	31,59 <sup>MT</sup>
RPAF	0,00 <sup>T</sup>	11,63 <sup>T</sup>	17,99 <sup>T</sup>	40,17 <sup>MS</sup>	0,00 <sup>T</sup>	2,93 <sup>T</sup>	19,93 <sup>T</sup>	32,80 <sup>MT</sup>	0,00 <sup>T</sup>	5,92 <sup>T</sup>	26,11 <sup>MT</sup>	24,88 <sup>MT</sup>
RPMST	0,00 <sup>T</sup>	20,51 <sup>MT</sup>	28,95 <sup>MT</sup>	36,61 <sup>MT</sup>	0,00 <sup>T</sup>	12,99 <sup>T</sup>	28,27 <sup>MT</sup>	27,12 <sup>MT</sup>	0,00 <sup>T</sup>	4,75 <sup>T</sup>	29,26 <sup>T</sup>	28,82 <sup>T</sup>

<sup>T</sup> Tolerante; <sup>MT</sup> Moderadamente tolerante; <sup>MS</sup> Moderadamente sensível; <sup>S</sup> sensível.

#### 4.0 CONCLUSÕES

O crescimento do algodoeiro é sensível lâminas de irrigação e ao aumento da salinidade presente na água de irrigação, quando da interação entre os fatores lâminas e salinidade estresses não houve influência nas variáveis de crescimento vegetativo.

A matéria seca total da planta é influenciada por ambos os estresses, sendo a matéria seca de raiz menos sensível aos estresses hídrico e salino.

A produção de matéria seca de folhas, caules e total sofre influência negativa da combinação dos estresses sendo agravadas pelo aumento da intensidade dos fatores de estresse.

O algodoeiro aumenta a tolerância à salinidade quando irrigado com lâminas excessivas. E a emissão foliar e a área foliar são as variáveis de crescimento com menor tolerância à salinidade aplicada junto com déficit hídrico.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.S.; SOARES, T.M.; SILVA, L.T.; FERNANDES, J.P.; OLIVEIRA, M.L.A.; PAZ, V. P. S. Estratégias para uso de água salobra na produção de alface hidropônica NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p.491-498, 2011.

ANANI, S.; De BLOCK, M.; MACHUKA, J.; LIJSEBETTERNS, M. V. Molecular improvement of tropical corn for drought stress tolerance in Sub-Saharan Africa. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.28, p.16-35, 2009.

ARRUDA, F. P.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; PEREIRA, I. E.; GUIMARÃES, M. A. M. Emissão e abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 7H: efeito do estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 21-27, 2002.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. UFPB: Campina Grande, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

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

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; NOBREGA, L. B.; SANTOS, J. W. Modificações no Crescimento e Desenvolvimento do Algodoeiro Herbáceo Sob Saturação Hídrica do Substrato em Casa de Vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.4, p.391-397, 1997.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003.

BOOTE, K.J.; TOLLENAAR, M. Modeling genetic yield potential. In: BOOTE, K.J.; BENNETT, J.M.; SINCLAIR, T.R.; PAULSEN, G.M. (ed). *Physiology and determination of crop yield*. Madison: **American Society of Agronomy**, cap. 20, p.553-565, 1994.

BRADFORD, K. J. Regulation of shoot responses to root stress by ethylene, abscisic acid, and cytokinin. In: WAREING, P.F. (ed). **Plant growth substances**, Academic Press, p.599-608, 1982.

CARLESSO, R.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; PETRY, M.; WOLSHIK, D. Efeito da lâmina de irrigação na senescência foliar do feijoeiro. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 545-556, 2007.

CHUANJIE, Y.; YIL, L.; LIN, S.; NA, W. Effect of Deficit Irrigation on the Growth, Water Use Characteristics and Yield of Cotton in Arid Northwest China. **Pedosphere**, v. 25, n. 6, p.910-924, 2015.

DAĞDELEN, N.; YILMAZ, E.; SEZGIN, F.; GÜRBÜZ, T. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. **Agriculture Water Manage**, v.82, p.63–85, 2006.

DAĞDELEN, N.; BAŞAL, E.; YILMAZ, E.; GÜRBÜZ, T.; AKÇAY, K. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. **Agriculture Water Manage**, v. 96, p.111–120, 2009.

DETAR, W. R. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes in sandy soil. **Agriculture Water Manage**. v.95, p. 69–76, 2008.

ERTEK, A.; KANBER, R. Efeitos de diferentes programas de irrigação por gotejamento sobre o número de cápsulas e porcentagem de derramamento e rendimento de algodão. **Agriculture Water Manage**. 60, pp. 1-11, 2003.

F. KARAM, R. LAHOUD, R. MASAAD, A. DACCACHE, O. MOUNZER, Y. ROUPHAEL. Utilização de água e resposta ao rendimento de fiapos de algodão irrigado por gotejamento ao longo da época de irrigação. **Agriculture Water Manage**, v. 85, p. 287-295, 2006.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares**. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 365-385.

FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCIA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M.G.G. Equações para estimativa do índice de área foliar para o cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n. 6, p. 769-773, 2002.

G. GUINN.; J. MAUNEY.; K. FRY. Calendário de irrigação e os efeitos da população de plantas sobre as taxas de crescimento da floração, abscission boll, e rendimento de algodão. **Agronomy Journal**, v. 73, p. 529-534, 1981.

ITAI, C.; VAADIA, Y. Cytokinin activity in water stressed shoots. **Plant Physiology**, v.47, p.87-90, 1971.

JÁCOME, A.G. **Crescimento e produção de genótipos de algodoeiro, em um solo salino-sódico**. Campina Grande: UFPB/CCT, 1999. 112p. (Dissertação de Mestrado).

JÚNIOR, S. P. S.; SOARES, F.A.L.; SIQUEIRA, E.C.; GHEYI, H.R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N.E.M. Germinação, crescimento e produção do algodoeiro colorido BRS Verde sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.236-241, 2005

KANG, Y.H.; WANG, R.S.; WAN, S.Q.; HU, W.; JIANG, S.F.; LIU S P. Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline. **Agriculture Water Manage**, v.109, p.117–126. 2012.

MCMICHAEL, B.L.; JORDAN, W.R.; POWELL, R.D. Abscission processes in cotton: Induction by plant water deficit. **Agronomy Journal**, v.65, p.202-204, 1973.

N, IBRAGIMOV.; S.R, EVETT.; Y. ESANBEKOV.; B.S.KAMILOV.; L. MIRZAEV.; J.P.A. LAMERS. Eficiência na utilização de água do algodão irrigado no Uzbequistão sob irrigação por gotejamento e sulco. **Agriculture Water Manage**. v. 90, p. 112-120, 2007.

N. DAĞDELEN, H. BAŞAL, E. YILMAZ, T. GÜRBÜZ, S. AKÇAY. Regimes de irrigação por gotejamento diferentes afetam o rendimento do algodão, a eficiência do uso da água e a qualidade da fibra no oeste da Turquia. **Agriculture Water Manage**, v. 96, p. 111-120, 2009.

NETO, M.F.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S.; BLANCO, F.F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v.37, n.6, 2007.

NUNES FILHO, J. **Comportamento de duas cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. raça latifolium Hutch) em função da salinidade e umidade do solo.**1993.74p. Botucatu: UNESP. (Tese de Doutorado).

OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H., FERREIRA, P. A.; COSTA, F. O.; ALMEIDA, I. C. C. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plants in response to soil aggregate size and water potential. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p. 317 - 327, 2010.

OLIVEIRA, F. A. DE; CAMPOS, T.G. DA S.; OLIVEIRA, B.C. Efeito de substratos salinos na germinação, vigor e no desenvolvimento do algodoeiro herbáceo. **Engenharia Agrícola**. v.18, n.2, p. 1-10, 1998.

OLIVEIRA, F. A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. R. A. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; FREIRE, A. G. Sensibilidade do algodoeiro ao cloreto de mepiquat em condições salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 484-492, 2012.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; FREIRE, A. G. Sensibilidade do algodoeiro ao cloreto de mepiquat em condições salinas. **Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, 2012.

OLIVEIRA, L. L. P.; DIAS, N. S.; FARIAS, W. C.; MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, L. L. Tolerância de cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum*) à salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.4, p.232-237, 2013.

OWEIS, T.Y.; FARAHANI, H. J.; HACHUM, A.Y. Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syria. **Agriculture Water Manage**. v. 98, p.1239–1248, 2011.

PEDRO, A. A.; STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; DOURADINHO, G. Z.; OLIVEIRA, C. P. Crescimento inicial de cultivares de algodoeiro submetido ao estresse salino. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 4, p. 32-38, 2016.

PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; MATOS, J. A.; SOUZA, E. R.; NETO, E. R. S. Crescimento do meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 03, p.334-341, 2006.

PRISCO, J.T. Alguns aspectos da fisiologia do estresse salino. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v.3, n.1/2, p.85-94, 1980.

R.S. GUO, T. LIN, L.W. TIAN, J.P. CUI, H.J. XU. Effect of regulated deficit irrigation on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in flowering and boll-forming stages of island cotton. **Agric. Res. Arid Areas**, v. 33, n. 2, p.130-135, 2015.

SILVA, A. R. A. **Respostas e adaptações de plantas de coqueiro anão verde às interações entre deficiência hídrica e salinidade do solo**. 2015. 247 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOBRINHO, F. P.C.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N.E.M.; SOARES, F.A.L. TERCEIRO NETO, C.P.C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS-200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, 2007.

SOUSA, C. H.C.; LACERDA, C. F. DE.; BEZERRA, F. M. L.; GOMES-FILHO, E.; GHEYI, H. R. SOUSA, A. E. C.; SOUSA, G. G. DE. Respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão de corda e algodão sob estresse salino.

UM, Z.D.; UM, Z. L.; B, S. L.; UM, L. W.; UM, W.; DONG, H. Efeitos da irrigação deficitária e da densidade de plantas no crescimento, no rendimento e na qualidade da fibra do algodão irrigado. **Field Crops Research**, v.197, p. 1-9, 2016.

WANG, R.; GAO, M.; JI, S.; WANG, S.; MENG, Y.; ZHOU, Z. Carbon allocation, osmotic adjustment, antioxidant capacity and growth in cotton under long-term soil drought during flowering and boll-forming period. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 107, p. 137-146, 2016.

WANJURA, D.F., UPCHURCH, D.R., MAHAN, J.R., BURKE, J.J., Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. **Agriculture Water Manage**, v. 55, p. 217-237, 2002.

**CAPITULO IV – TROCAS GASOSAS EM ALGODOEIRO SUBMETIDO AOS  
EFEITOS ISOLADOS E COMBINADOS DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO  
EXCESSIVA E DEFICITÁRIA E DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SAIS  
NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

## RESUMO

Em condições naturais de cultivo, as plantas estão expostas a uma combinação variada de diversos fatores abióticos, os quais interagem fortemente, resultando em uma combinação múltipla de fatores adversos. Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar as trocas gasosas do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária sob estresse salino. O estudo foi conduzido em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica da UFC – Campus do Pici. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4, correspondendo a diferentes níveis de reposição hídrica (70, 100 e 130% da demanda hídrica da cultura), associados aos crescentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,5; 5,0; e 7,5 dS m<sup>-1</sup>), totalizando 12 tratamentos com cinco repetições. Foram realizadas avaliações da fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs) ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) aos 15, 30 e 45 dias de aplicação dos tratamentos com um analisador a gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT (Portable Photosynthesis System-LI) da LICOR. Foram utilizadas folhas completamente expandidas submetidas à irradiância saturante (1400 mmol de fons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Os dados de A e E foram influenciados significativamente pela interação das lâminas de irrigação, salinidade e as épocas de avaliação, mas isoladamente somente a época de irrigação influenciou essas variáveis. A gs foi reduzida por ambos estresses isolados e a Ci pelas lâminas de irrigação e épocas de avaliação. Com isso, verifica-se que o déficit hídrico assim como o estresse salino tiveram pouco efeito sobre as trocas gasosas do algodoeiro reduzindo levemente a condutância estomática, o que não foi suficiente para reduzir a taxa de fotossíntese líquida.

**Palavras chaves:** *Gossypium hirsutum* L., estresses abióticos, fotossíntese

## ABSTRACT

**ABSTRACT:** Under natural growing conditions plants are exposed to a varied combination of several abiotic factors, which interact strongly, resulting in a multiple combination of adverse factors. In this context, the objective of this study was to evaluate the gaseous changes of cotton subjected to the isolated and combined effects of excessive and deficit irrigation under salt stress. The study was conducted in a greenhouse at the UFC - Campus do Pici, Agrometeorological Station. A completely randomized design was used, in a 3x4 factorial scheme, corresponding to different levels of water replenishment (70, 100 and 130% of the water demand of the crop), associated to the increasing salinity levels of irrigation water (0.5; 2.5, 5.0, and 7.5 dS m<sup>-1</sup>), totaling 12 treatments with five replicates. Evaluations of net photosynthesis (A) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), stomatal conductance (gs) transpiration (E) (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) and internal CO<sub>2</sub> concentration (Ci) at 15, 30 and 45 days of application of the treatments were performed using a Li - 6400XT (Portable Photosynthesis System - LI) LICOR portable infrared gas analyzer (IRGA). Completely expanded leaves subjected to saturating irradiance (1400 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) were used for these measurements. The A and E data were significantly influenced by the interaction of the irrigation depth, salinity and the evaluation periods, but only the irrigation season alone influenced these variables. Stomatal conductance was reduced by both isolated stresses and the Ci by the irrigation depth and evaluation times. Thus, the water deficit as well as the salt stress had little effect on the cotton leaf gas exchange, reducing the stomatal conductance slightly, which was not enough to reduce the net photosynthesis rate.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L. Abiotic stresses. Leaf gas exchange

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de água pela agricultura irrigada e a limitação em qualidade e quantidade desse insumo para atender a demanda crescente, principalmente em regiões semiáridas, tem aumentado o interesse pelo uso de fontes de águas salinas nessas regiões. Saliendo a importância de lançar mão de estratégias que a longo prazo garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas, como por exemplo, o uso de frações de lixiviação pode também contribuir para reduzir o acúmulo de sais no solo (AYERS: WESTCOT, 1999; NEVES *et al.*, 2009; LACERDA *et al* 2010).

Entretanto é importante destacar que nas regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil a água é fator limitante também pela sua quantidade, devido principalmente a irregularidades das chuvas e os eventos de seca dos últimos anos. Isto dentre outras coisas, resulta no menor armazenamento e abastecimento dos corpos hídricos, o que aumenta a importância da otimização do recurso água. Assim sendo, o estudo da aplicação de déficit hídrico associado a água salina pode ser uma estratégia viável economicamente, visto que o volume de chuvas concentradas podem ajudar a lavar esses solos.

Sendo viável do ponto de vista econômico, é necessário observar esses efeitos nos vegetais de importância agrícola. Na avaliação das diferentes respostas das espécies vegetais de importância agrícola, aos efeitos isolados e/ou combinados da deficiência hídrica e da salinidade, algumas variáveis tem se mostrado relevante para avaliar os efeitos deletérios dos estresses combinados, tais como; trocas gasosas foliares (ÁLVAREZ *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014), fluorescência da clorofila (AZEVEDO NETO *et al.*, 2011; CRUZ *et al.*, 2009), teores relativos de clorofila total e de carotenóides (JESUS; MARENCO, 2008; TORRES NETO *et al.*, 2005) e ao potencial hídrico foliar (BENZARTI *et al.*, 2014; FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015), sendo para Silva *et al* (2014) estas variáveis supracitados importantes para identificar se determinada espécie vegetal apresenta tolerância e/ou capacidade de desenvolvimento diante destas condições adversas

Dentre os efeitos dos estresses sob o metabolismo vegetal, a fotossíntese é o primeiro alvo fisiológico de estresses ambientais, como a seca e a salinidade (MUNNS: TESTER, 2008; LIU: HUANG, 2008; CHAVES *et al.* 2009). Estes estresses induzem muitas respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares em que a fotossíntese é bastante afetada. Respostas fotossintéticas ao déficit hídrico são influenciadas pela intensidade de

tensão, duração e taxa de progressão. Esses fatores que determinam se os processos de mitigação associadas à aclimação serão iniciados (CHAVES *et al.*, 2009).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo, avaliar as trocas gasosas do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária sob estresse salino.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e caracterização da área experimental**

Informações descritas no Capítulo III

### **2.2 Preparação do solo**

Informações descritas no Capítulo III

### **2.3 Material vegetal**

Informações descritas no Capítulo III

### **2.4 Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido sob delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x4) com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por duas plantas. Para as trocas gasosas cujas avaliações foram realizadas ao longo do tempo, acrescentou-se a época de avaliação, 15, 30 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) como uma fonte de variação.

Os tratamentos foram constituídos por três laminas de irrigação, que representavam percentuais da demanda hídrica da planta (70, 100 e 130%) e diferentes concentrações de sais na água de irrigação (0,5, 2,5, 5,0 e 7,5 dS m<sup>-1</sup>).

### **2.5 Manejo da irrigação**

Informações descritas no Capítulo III

## 2.6 Variáveis Analisadas

### 2.6.1 Trocas gasosas foliares

Foram analisadas a fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ , Pa) aos 15, 30 e 45 dias de implantação dos tratamentos, com um analisador de gases no infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT (Portable Photosynthesis System-LI) da LICOR, em folhas completamente expandidas submetidas à irradiância saturante ( $1400 \mu\text{mol de fons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e mantidas em condições ambientais de  $\text{CO}_2$  e temperatura. De posse dos dados, foram calculadas a eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ) e a eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ). Essas avaliações foram realizadas utilizando-se a folha mais jovem totalmente expandida.

### 2.6.2 Potencial hídrico

Para identificar mudanças na status hídrico, foi mensurado o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), antes do nascer do sol (“predawn”) ao término do experimento (50 DAT), medindo-se a pressão hidrostática negativa (tensão) que existe no xilema das plantas. Para tanto assume-se que o  $\Psi_w$  do xilema é igual ao  $\Psi_w$  médio de todo o órgão, uma vez que em muitos casos o potencial osmótico do xilema é desprezível. Assim, folhas jovens totalmente expandidas das plantas foram destacadas e suas hastes cortadas em bisel, em seguida foram postas numa de câmara pressão (tipo Scholander) e aplicado gás comprimido até a formação de gutação no bisel. Os valores correspondentes as pressões aplicadas foram expressas em MPa.

## 2.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e posteriormente à análise de variância a 5 e 1% de probabilidade. Quando a interação entre lâminas de irrigação e concentrações de sais na água de irrigação foi significativa, os dados foram desdobrados em análise de regressão sendo o modelo escolhido pelo  $R^2$  ajustado. Quando os dados não apresentaram interação, os dados para lâminas foram submetidos ao teste

de Tukey e para as concentrações de sais da água de irrigação foram submetidas a análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares ASSISTAT<sup>®</sup> versão 7.7 beta (Silva e Azevedo, 2009) e SIGMAPLOT 12.0<sup>®</sup>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância para trocas gasosas e potencial hídrico encontram-se apresentados na Tabela 4.1. As variáveis condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), transpiração ( $E$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $EUA_i$ ) foram influenciadas pelo estresse hídrico. O potencial hídrico predawn ( $\Psi_{w_{pd}}$ ),  $g_s$  e  $EUA_i$ , foram influenciadas pela concentração de sais na água de irrigação. A concentração interna de  $CO_2$  foi influenciada pela interação entre o estresse hídrico e as épocas de avaliação. A fotossíntese ( $A$ ), a transpiração ( $E$ ) e a eficiência instantânea do uso da água ( $EiUA$ ) foram influenciadas pela interação dos estresses e os dias de aplicação dos estresses ( $DAT$ ).

Para a condutância estomática, constatou-se que a mesma foi 10 e 20% menor nas plantas sob irrigação deficitária, comparadas com as lâminas de 100% e 130% da demanda hídrica da cultura ( $DHC$ ), respectivamente (Tabela 4.2). Em estudo realizado com quatro cultivares de algodoeiro (Monseratt Sea Island (MS) Pima 32 (P32), Pima S-6 (S6) e Pima S-7 (S7)), em condições bem irrigadas e com limitação por déficit hídrico de 50% da capacidade de campo do solo, Carmo-Silva *et al* (2012) observaram redução na condutância estomática de 75, 42, 35 e 45% para MS, P32, S6 e S7, respectivamente. A redução na  $g_s$  em função do estado hídrico foi muito mais acentuada em experimentos realizados por Deeba *et al* (2012), que trabalhando com suspensão de rega em algodão (genótipo RAHS 187), e destacando folhas da cultura, quando estas estavam com 75, 50 e 35% o seu conteúdo relativo de água (cujo menor conteúdo relativo de água foi obtido a 7 dias de suspensão de rega), observaram redução na  $g_s$  de 43, 50 e 87%, respectivamente.

**Tabela 4.1.** Quadrados médios para Potencial hídrico ( $\Psi_{w_{pd}}$ ), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), transpiração (E) eficiência instantânea do uso da água (EiUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI) de plantas de algodão submetidas aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina.

F. Variação	GL	$\Psi_{w_{pd}}$	A	gs	Ci	E	EiUA	EUAI
L. Irrigação (F1)	2	0,22 <sup>ns</sup>	31,84 <sup>ns</sup>	0,130**	822,26*	10,66**	0,034 <sup>ns</sup>	1355,16**
C. Sais (F2)	3	0,83**	16,75 <sup>ns</sup>	0,061*	306,52 <sup>ns</sup>	3,00 <sup>ns</sup>	0,418 <sup>ns</sup>	775,74**
Épocas de avaliação (F3)	2	-	12,21 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	228,79 <sup>ns</sup>	0,744 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>	32,96 <sup>ns</sup>
Inter. F1 x F2	6	0,40 <sup>ns</sup>	9,40 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	520,36*	4,27 <sup>ns</sup>	0,065 <sup>ns</sup>	182,33 <sup>ns</sup>
Inter. F1 x F3	4	-	1,93 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	26,30 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,200 <sup>ns</sup>	22,49 <sup>ns</sup>
Inter. F2 x F3	6	-	5,37 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	164,57 <sup>ns</sup>	4,06 <sup>ns</sup>	0,169 <sup>ns</sup>	34,14 <sup>ns</sup>
Inter. F1 x F2 x F3	12	-	2,95**	0,003 <sup>ns</sup>	83,92 <sup>ns</sup>	4,71**	0,480*	49,61 <sup>ns</sup>
Resíduo	48/144	0,27	14,39	0,008	233,60	2,02	0,245	91,27
Total	59/179	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		13,72	16,64	21,80	6,93	16,75	18,81	16,60

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ). \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 = < p < .05$ ). <sup>ns</sup> não significativo ( $p \geq .05$ ).

**Tabela 4.2** Potencial hídrico ( $\Psi_{w_{pd}}$ ), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), transpiração (E) eficiência instantânea do uso da água (EiUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI) de algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária.

L. Irrigação	$\Psi_{w_{pd}}$	A	gs	Ci	E	EUA (A/E)	EUAI(A/gs)
	Mpa	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-2}$	$\mu\text{mol mmol}^{-1}$	$\mu\text{mol mol}^{-1}$
70% da DHC	1,20 <sup>a</sup>	21,87 <sup>a</sup>	0,367 <sup>c</sup>	237,47 <sup>b</sup>	8,06 <sup>b</sup>	2,62 <sup>a</sup>	61,57 <sup>a</sup>
100% da DHC	1,17 <sup>a</sup>	22,40 <sup>a</sup>	0,407 <sup>b</sup>	239,30 <sup>ab</sup>	8,37 <sup>ab</sup>	2,61 <sup>a</sup>	55,86 <sup>b</sup>
130 da DHC	1,24 <sup>a</sup>	23,31 <sup>a</sup>	0,460 <sup>a</sup>	245,20 <sup>a</sup>	8,89 <sup>a</sup>	2,66 <sup>a</sup>	52,13 <sup>b</sup>
DMS	1,26	1,64	0,03	6,90	0,61	0,21	4,13

DMS – Diferença mínima significativa; Letras minúsculas representam diferenças entre as médias pelo teste de Tukey.

A redução da  $g_s$  é uma das respostas mais rápidas e intensas que ocorrem em plantas submetidas a agentes estressantes que comprometem seu estado hídrico, como a seca e a salinidade (CHAVES, 1991; HU; WANG; HUANG, 2010). Essa resposta pode aliviar a perda de água através da regulação da transpiração, mas que inevitavelmente reduz a disponibilidade de  $CO_2$  no cloroplasto (BOTA *et al.*, 2004). Essa resposta estomática é regulada por vias de sinalização que ocorrem nas raízes e nas folhas, modulada pela síntese e pela distribuição do ácido abscísico (DAVIES; WILKINSON; LOVEYS, 2002; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O declínio da  $g_s$  via de regra causa efeitos sobre a concentração interna de  $CO_2$  e estes, por sua vez, provocam redução da fotossíntese pela limitação estomática. Em termos de importância, o fechamento estomático e a consequente redução do fluxo normal de  $CO_2$  em direção ao sítio de carboxilação constituem um dos principais responsáveis pela redução da fotossíntese sendo a água um dos fatores fundamentais responsáveis pelo processo que regula a abertura ou fechamento dos estômatos (BOSCO *et al.*, 2009). Quando o estresse é progressivo e acentua a desidratação do tecido, ocorre um prejuízo metabólico gradual (KAISER, 1987), incluindo a limitação da fotofosforilação (YOUNIS *et al.*, 1979; TEZARA *et al.*, 1999), regeneração da Ribulose 1-5 bifosfato (RuBP) (GIMENEZ *et al.*, 1992; GUNASEKERA e BWEKOWITZ, 1993) e atividade da Rubisco (MAROCO *et al.*, 2002; PARRY *et al.*, 2002).

Neste trabalho foi possível observar diferenças mínimas para  $C_i$  em função das lâminas aplicadas, e essa por sua vez não teve impacto sobre a fotossíntese (Tabela 4.2). Além da  $C_i$ , a taxa de transpiração da cultura também sofreu influências mínimas da lâmina aplicada (Tabela 4.2). Tal resultado para E em algodoeiro, discorda de Carmo-Silva *et al.* (2012) que observaram reduções da transpiração em função do déficit de 50% da capacidade de campo em quatro cultivares de algodoeiro e de Deeba *et al.* (2012), em folhas de algodoeiro em diferentes conteúdos relativos de água de água, ou distintos graus de hidratação das folhas.

Ainda sobre a consequência da redução da  $g_s$  é esperada redução da transpiração (E), fato observado no presente estudo, visto que o fechamento estomático ocorre no sentido de minimizar a perda de água e manter a turgescência das células (BRITO *et al.*, 2013; TRENTIN *et al.*, 2011). Tal comportamento constitui um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra as perdas excessivas de água, bem como, compõe uma das estratégias adaptativas diante da imposição do déficit hídrico (INOUE; MARTINS, 2006; THOMPSON *et al.*, 2007). É importante salientar que no

presente estudo, o potencial hídrico também não variou em função das lâminas aplicadas (Tabelas 4.1 e 4.2), ou seja, comparativamente, não havia limitações hídricas que justificasse variações muito grande na transpiração entre os tratamentos.

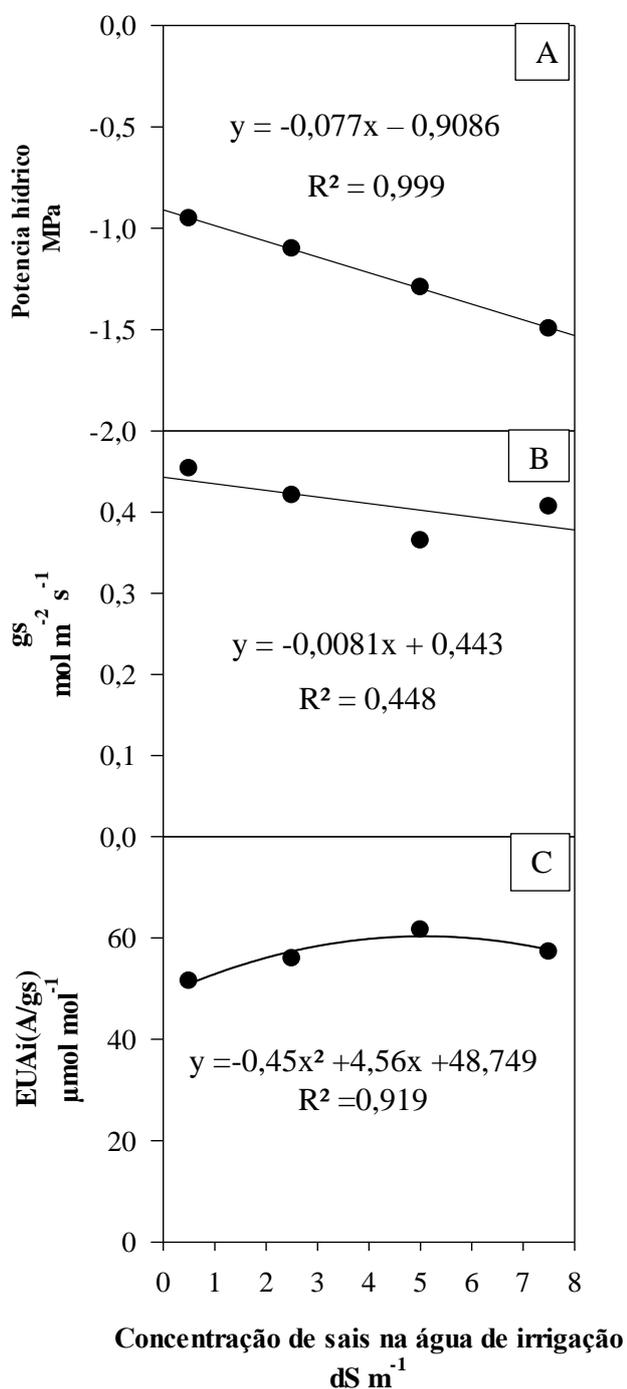
A eficiência intrínseca do uso da água, obtida através da relação entre as taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a condutância estomática ( $EUA_i = A/g_s$ ) foi aumentada quando a planta estava sob déficit hídrico, sendo 9,3 e 15,4% maior nas plantas irrigadas com 100 e 130% da DHC, respectivamente (Tabela 4.2). Estes resultados são concordantes com Álvarez *et al.* (2011), ao evidenciarem que a eficiência intrínseca do uso da água aumenta progressivamente em plantas estressadas, indicando o predomínio do controle estomático sobre a fotossíntese. Na verdade,  $EUA_i$  aumenta à medida que  $A$  permanece quase que inalterado e a condutância estomática diminui em condições de estresse hídrico (POU *et al.*, 2008; FLEXAS *et al.*, 2004), fato observado no presente estudo.

No que se refere aos efeitos da salinidade do solo, o  $\Psi_{w_{pd}}$  ajustou-se ao modelo matemático de regressão linear, variando de -1,4 a -0,95 MPa entre os níveis de CE avaliados (Figura 4.1A). Registraram-se maiores valores de  $\Psi_w$  (-0,95 MPa) para o tratamento equivalente a CE de 0,5 dS m<sup>-1</sup>, ao passo que o menor valor (-1,4 MPa) foi obtido no nível mais severo de estresse salino (7,5 dS m<sup>-1</sup>). Foi observado que para cada 1 dS m<sup>-1</sup> aplicado houve uma redução de -0,077 MPa no potencial hídrico *predaw*. Essa variável reflete o equilíbrio de potencial entre a planta e o solo (KATERJI; HALLAIRE, 1984), visto que os estômatos da planta ainda se encontram fechados. Nessa perspectiva, o decréscimo no potencial hídrico da solução do solo pode ter sido ocasionado pelo acúmulo de sais e redução do potencial osmótico, o que pode contribuir parcialmente para o ajustamento osmótico dos tecidos foliares mas, favorecendo a manutenção da absorção de água sob estresse salino. O acúmulo de sais, no entanto, pode acarretar toxidez, afetando o metabolismo e o crescimento celular (BOHNERT; NELSON; JENSEN, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Mesquita *et al.* (2012), em algumas espécies vegetais, a capacidade de diminuição do potencial hídrico foliar tem sido associada com sua respectiva tolerância ao déficit hídrico e/ou à salinidade. Por outro lado, essas reduções no potencial hídrico foliar frente às condições adversas de suprimento hídrico e/ou de salinidade do solo podem estar associadas aos decréscimos nos potenciais de turgescência celular, em decorrência dos efeitos biofísicos que esses agentes estressores são capazes de exercer nas relações hídricas dos vegetais. Essas inferências podem ser complementadas,

levando-se em consideração as informações fornecidas por Taiz e Zeiger (2013), ao relatarem que, nos vegetais, dois processos intracelulares contribuem para o decréscimo do potencial hídrico: a acumulação de íons no vacúolo e a síntese de solutos compatíveis no citosol. Para os autores, a redução do potencial osmótico celular pelo acúmulo de solutos orgânicos compatíveis com o metabolismo tem sido considerada um importante mecanismo de tolerância ao estresse salino e hídrico em plantas.

Figura 4.1 – Potencial hídrico ( $\Psi_{w_{pd}}$ ), condutância estomática (gs) e eficiência instantânea do uso da água (EiUA) do algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.



Além do efeito dos sais sobre a redução do potencial hídrico, a salinidade reduz a condutividade hidráulica das raízes, limitando o fluxo de água e de sais para a parte aérea (SOHAN; JASONI; ZAJICEK, 1999). Posteriormente, o acúmulo excessivo de sais pode levar à morte dos tecidos, órgãos e até mesmo da planta inteira. Isso ocorre,

em grande parte, devido aos distúrbios provocados pelos efeitos dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  acumulados nas células, os quais afetam vários processos metabólicos (MUNNS, 2002).

Tais inferências podem ser justificadas apoiadas nas informações reportadas por Dias e Blanco (2010), quando advertem que a elevação da concentração de sais na solução do solo acarreta acréscimo das forças de retenção, devido aos efeitos dos sais sobre o potencial osmótico, acentuando a magnitude do problema de insuficiência de água na planta. Segundo os referidos autores, o acréscimo da pressão osmótica, movido pelo excesso de sais solúveis, é capaz de alcançar uma condição, na qual, as plantas não terão forças de sucção satisfatória para ultrapassar esse potencial osmótico e, como resultado, a planta não será capaz de absorver água, mesmo em um solo claramente úmido, o que não ocorreu no presente estudo, visto que mesmo havendo prejuízos no crescimento, as plantas continuaram seu desenvolvimento.

Acompanhando a tendência do potencial hídrico foliar, a *gs* apresentou efeitos depressivos com os incrementos dos níveis de salinidade, sendo que, para cada aumento unitário da condutividade elétrica, constatou-se uma redução de  $0,008 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4.1B).

Zhang *et al.* (2013) também encontraram efeito negativo dos sais sobre a *gs*. Nesse caso, trabalhando com duas cultivares de algodão CCRI-44 (tolerante ao sal) e Sumian 12 (sensível ao sal) e diferentes concentrações de sais no solo 1,25; 5,80; 9,61; 13,23 e 14,65  $\text{dS m}^{-1}$ , os autores observaram redução da *gs*, comparando a menor e a maior CE do solo, de aproximadamente 35 e 45% para as cultivares mais e menos tolerante ao efeito do sal, respectivamente. Apesar dos autores não lançarem mão de modelos matemáticos, é possível observar uma redução linear da *gs* em função da salinidade, corroborando com os resultados apresentados nesse trabalho.

Os efeitos que a salinidade elevada exerce na abertura estomática são descritos por Kusvuran (2012). O fechamento dos estômatos pode agir como sinal para ativar múltiplas respostas ao estresse, incluindo a inibição do crescimento de plantas, o que pode ser prejudicial em termos de rendimento (RUGGIERO *et al.*, 2004). Por outro lado, o fechamento estomático evita a ocorrência de danos aos sistemas metabólicos, ajustando-os ao déficit hídrico na planta, seja ele decorrente da escassez de água e/ou do excesso de sais (MATOS; TEIXEIRA JÚNIOR; SILVEIRA, 2003). Ainda para Koyro (2006) as reduções na *gs* e *E* pode representar um mecanismo de adaptação para lidar com o excesso de sal, uma vez que o fechamento estomático associado a uma transpiração mínima tende a reduzir a concentração de sais nas folhas.

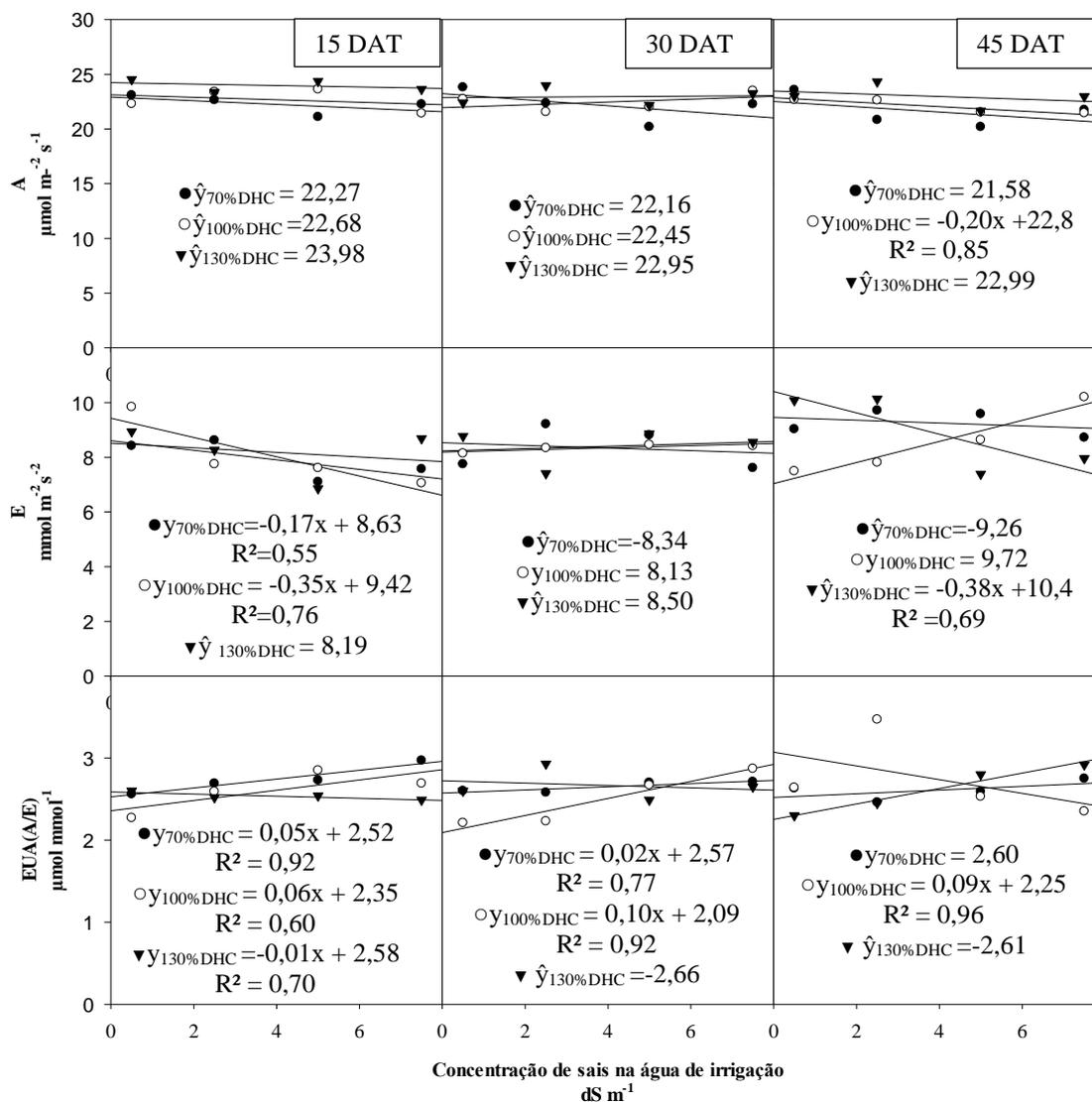
A eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ) se ajustou ao modelo quadrático de regressão, tendo ajuste de 91% (Figura 4.1C). Com o aumento da concentração de sais na água de irrigação a  $EUA_i$  foi aumentada até a concentração de  $5,06 \text{ dS m}^{-1}$ , e a partir desse valor houve um decréscimo na  $EUA_i$ .

Quanto à interação entre os estresses, no presente estudo foi possível observar que não houve diferenças na fotossíntese líquida para ambos os fatores de estudo (déficit hídrico e/ou salinidade) isoladamente, mas na interação com o tempo esses valores foram significativos. Aos 15 e 30 DAT não foram observadas diferenças entre as médias para lâmina e a  $A$  não se adequou a nenhum modelo de regressão linear. No entanto aos 45 DAT a fotossíntese se ajustou a modelos matemáticos em função da salinidade, para o tratamento de 100% da DHC, tendo reduzido  $0,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para cada  $1 \text{ dS m}^{-1}$  de sais aplicados; no entanto os valores obtidos na regressão não diferiram muito das médias de  $A$  para nas lâmina excessiva e deficitária (Figura 4.2).

Segundo Costa e Cothren (2011), o déficit hídrico imposto em qualquer estágio de desenvolvimento e em várias intensidades, resulta em depressão da taxa fotossintética foliar em algodoeiro devido a uma combinação de limitações estomáticas e não-estomáticas. Entretanto, no presente estudo não foi observada essa redução, o que é atribuído à intensidade dos estresses aqui aplicados, visto que para Chaves *et al.* (2009) as respostas fotossintéticas ao déficit hídrico são influenciados pela intensidade de tensão, duração e taxa de progressão.

Trabalhos discutidos anteriormente como Deeba *et al.* (2012), pesquisando o genótipo RAHS 187 de algodoeiro, no qual as avaliações da fotossíntese são realizadas quando as folhas estão sob conteúdo relativo de 75, 50 e 35%, a fotossíntese quando comparadas com o controle foi 40, 50 e 90% menor, respectivamente. É importante salientar que a fotossíntese nesse estudo obteve valores baixos, mesmo para o controle ( $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) provavelmente por ser realizados em folhas destacadas, o que diferem muito das condições experimentais do presente estudo. Carmo-Silva *et al.* (2012), trabalhando com quatro cultivares de algodoeiro sob déficit hídrico de 50% da capacidade de campo também demonstraram reduções na fotossíntese em todos os cultivares, discordando dos resultados do presente estudo. Entretanto, os trabalhos apresentados acima tratam de déficit bem mais severos, uma vez que, o déficit de 30%, no presente estudo, não foi suficiente para provocar uma depressão na taxa fotossintética, visto que como mostrado anteriormente reduziu apenas 10% nos valores de  $g_s$ .

**Figura 4.2** - Fotossíntese (A), Transpiração (E) e eficiência instantânea do uso dá água (EiUA) de algodoeiro submetido a lâminas de irrigação de 70, 100 e 130% da demanda hídrica da cultura, combinadas com diferente concentração de sais (0,5, 2,5, 5,0 e 7,5 dS m<sup>-1</sup>) ao longo do tempo de condução do experimento (15, 30 e 45 dias de aplicação dos tratamentos).



Quanto à salinidade, Zhang *et al.* (2013) trabalhando com duas cultivares de algodão, CCRI-44 (tolerante ao sal) e Sumian 12 (sensível ao sal) e diferentes concentrações de sais no solo (1,25; 5,80; 9,61; 13,23 e 14,65 dS m<sup>-1</sup>), observaram uma redução da A, comparando a menor e a maior CE do solo, de aproximadamente 19 e 26% para as cultivares mais e menos tolerante ao efeito do sal, respectivamente. Apesar dos autores não expressar os valores na forma de regressão, é possível observar uma redução linear da fotossíntese em função da salinidade.

Entretanto vale salientar que os três últimos níveis de sais aplicados no solo, estão bem acima dos que foram aplicados via água de irrigação no presente estudo e que

a redução significativa se deu apenas a partir do nível de CE do solo igual a  $9,61 \text{ dS m}^{-1}$ . Isso permite a comparação dos resultados obtidos no presente trabalho, com os resultados encontrados nas plantas cultivadas sob CE de  $5,80 \text{ dS m}^{-1}$ , e esses resultados corcondam entre si, não havendo diferenças estatísticas entre A obtido a  $1,25 \text{ dS m}^{-1}$  e a  $5,80 \text{ dS m}^{-1}$ , existindo apenas um média de fotossíntese maior na cultivar mais tolerante (mais ou menos  $24,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Ainda partindo da premissa de que não houve, ou foi incipiente a limitação estomática no presente estudo, essa redução na fotossíntese obtida por Zhang *et al.* (2013) foi acompanhada por uma redução de 35 e 45% na gs para as cultivares mais e menos tolerante ao efeito do sal, respectivamente. E no que permite a comparação com o nosso estudo a gs não variou significativamente.

Assim, a redução da condutância estomática quando provocam maiores reduções no influxo de  $\text{CO}_2$  (neste caso houve uma pequena redução de  $C_i$ ) causa efeitos sobre a assimilação de carbono, visto que a fotossíntese requer difusão de  $\text{CO}_2$  da atmosfera para a folha e, finalmente, para o local de carboxilação no estroma do cloroplasto (FLEXAS *et al.*, 2007). O estresse hídrico (provocado pela seca e, ou salinidade) reduz fortemente a disponibilidade de  $\text{CO}_2$  nos cloroplastos. Limitando a difusão de  $\text{CO}_2$  e assim a capacidade fotossintética é progressivamente diminuída em condições de seca (CHAVES *et al.*, 2002, FLEXAS *et al.*, 2002, FLEXAS *et al.*, 2004 e GALMÉS *et al.*, 2007).

No presente estudo, a transpiração (E) foi influenciada pela interação entre os fatores lâminas de irrigação x estresse salino x tempo (Tabela 4.1). Aos 15 DAT, as plantas sobre lâminas excessivas não sentiram os efeitos dos sais, visto que tal lâmina contribuiu para a lixiviação dos mesmos (Figura 4.2B). Para as lâminas de 70 e 100% foi possível observar redução da E em função da concentração de sais da água de irrigação, sendo esta de  $0,17$  e  $0,35 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$  para cada  $1 \text{ dS m}^{-1}$  de sais aplicados via água de irrigação, respectivamente. A menor redução da E por sais aplicados na lâmina deficitária ( $0,17 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$  para cada  $1 \text{ dS m}^{-1}$ ) comparada com a lâmina de 100% da DHC ( $0,35 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$  para cada  $1 \text{ dS m}^{-1}$ ) pode ser atribuída há um maior controle estomático nas condições de déficit hídrico, visto que o fechamento parcial dos estômatos diante do estresse salino promove também redução da transpiração foliar, evitando a perda excessiva de água nas folhas. Tendo em vista que ocorre uma diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração, na medida em que se fecham os estômatos espera-se esta relação direta entre condutância estomática e transpiração (GONÇALVES *et al.*, 2010).

A EUA (A/E), assim como a A e E foi influenciada pela interação entre os estresses hídricos, salino e épocas de avaliação (Tabela 4.2). Aos 15 DAT, para as lâminas de 70 e 100% da DHC foi possível observar um aumento da EUA em função da salinidade. Porém nas lâminas de 130% da DHC foi observada redução da eficiência por unidade de sal aplicado. A tendência de aumento da eficiência em função da salinidade, exceto para 130% da DHC, também foi observada aos 30 DAT e aos 45 DAT, em que houve ajuste em função da salinidade somente para a lâmina de 100% da DHC (Figura 4.2).

Shimazaki *et al.* (2007) e Ferraz *et al.*, 2012, reportaram que a assimilação de dióxido de carbono do meio externo promove perda de água, e que a diminuição desta perda também restringe a entrada de CO<sub>2</sub>. Para Jaimez *et al.* (2005), a relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência instantânea no uso de água (EUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde. Neste sentido, os incrementos observados na EUA, neste estudo, são reflexos de uma aclimação aos estresses, que fica evidente principalmente, como uma resposta ao déficit hídrico (Tabela 4.3) e na lâmina de 100% da DHC, cujo aumento da EUA em função da salinidade da água de irrigação, se deu em todos os dias de avaliação.

A eficiência instantânea de uso da água, além de ser influenciada por fatores ambientais, como déficit hídrico e salinidade do solo, mostra-se altamente variável em função do tipo de metabolismo do carbono da espécie, e por outras características morfofisiológicas que são capazes de conferir uma maior resistência às perdas de água, como densidade e abertura dos estômatos, revestimento da superfície foliar (presença de tricomas, cerosidade nas folhas) e posicionamento dos estômatos em relação à superfície da folha (planos ou em cavidades) (SILVEIRA *et al.*, 2013).

De acordo com Silva *et al.* (2014), plantas que possuem a habilidade de aumentar a eficiência no uso da água sob condições adversas de salinidade, provavelmente possuem alta capacidade de tolerância ao estresse salino. Isso pode estar sendo assegurado pelo próprio mecanismo de exclusão de sais pelas raízes, tendo em vista que, menores valores de transpiração evidenciam diretamente em reduções no consumo de água do solo, acarretando, por conseguinte, redução na absorção de íons específicos, evitando, portanto, os eventuais efeitos tóxicos que os mesmos possam acarretar às plantas, quando absorvidos.

#### **4.0 CONCLUSÃO**

As trocas gasosas do algodoeiro sofreram pouca influência dos estresses isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e de irrigação com água salina, tendo somente provocado uma leve redução na condutância estomática, o que não gerou impacto significativo sob a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, S., NAVARRO, ALEJANDRA; NICOLÁS, E. , SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in *Callistemon* plants during drought conditions. **Scientia Horticulturae**, v.129, s.n, p. 306 – 312, 2011
- ÁLVAREZ, S., NAVARRO, ALEJANDRA; NICOLÁS, E. , SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in *Callistemon* plants during drought conditions. **Scientia Horticulturae**, v.129, s.n, p. 306 – 312, 2011.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura (Estudos FAO). Campina Grande, UFPB, 1999, 153 p.
- AZEVEDO NETO, A. D. de; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. dos. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.
- BOHNERT, H. J.; NELSON, D. E.; JENSEN, R. G. Adaptations to environmental stresses. **Plant Cell**, v.7, n.6, p.1099-1111, 1995.
- BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, v.56, p.296-302. 2009.
- BOTA, J.;; MEDRANO, H.;; FLEXAS, J. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress. **New Phytol**, v. 162, n.3, p.671-681, 2004.
- BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO, G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.
- CARMO-SILVA, A. E.; MICHAEL, A. GOREA, P.; ANDRADE-SANCHEZB, ANDREW N. FRENCHA, DOUG J. HUNSAKERA, MICHAEL E. SALVUCCIA. Decreased CO<sub>2</sub> availability and inactivation of Rubisco limit photosynthesis in cotton plants under heat and drought stress in the field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 83, p. 1-11, 2012.
- CHAVES, M. M., FLEXAS, J., PINHEIRO, C., Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, n. 4, p.551–560, 2009.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v.42, n. 1, p. 1-16, 1991.
- CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture: not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, v.5, n. 5, p.187–188, 2000.

COSTA, V.A.; COTHREN, J.T. Drought effects on gas exchange, chlorophyll, and plant growth of 1-methylcyclopropene treated cotton. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 4, p 1230–1241, 2011.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F.; DIAS, A. T.; PAES, R. A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 528-531, 2003.

DAVIES, W.J., WILKINSON, S., LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytologist**, v.153, n.1, p. 449 – 460, 2002.

DEEBA, F.; PANDEY, A, K.; RANJAN, S.; MISHRA, A.; SINGH, R.; SHARMA, Y. K.; SHIRKE, P. A.; PANDEY, V. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.53, p. 6-18, 2012.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). In: **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p.127-141.

FAVER, K.L.GERIK, T.J. THAXTON, P.M; EL-ZIK, K.M. Late season water stress in cotton: II. Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, v. 36, p. 922–928, 1996.

FERRAZ, R. L. de S.; MELO, A. S. de; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B. de; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. da S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FURTADO, G. de FREITAS; SOARES, L. A. dos ANJOS; SOUSA, J. R. M. de; ANDRADE, E. M. G. de; GUERRA, H. O. C. Alterações fisiológicas em feijão-caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 175-181, 2013.

GIMENEZ, C.; MITCHELL, V.J.; LAWLOR, D.W. Regulation of photosynthesis rate of two sunflower hybrids under water stress. **Plant Physiology**, v.98, p.516–524, 1992. GUNASEKERA, D.; BERKOWITZ, G.A. Use of transgenic plants with Rubisco antisense DNA to evaluate the rate limitation of photosynthesis under water stress. **Plant Physiology**, v.103, 629–635, 1993.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; LAURÍCIO, E.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.378 – 386, 2010.

HU, L.; WANG, Z.; HUANG, B. Diffusion limitation and metabolic factors associated within inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C<sub>3</sub> perennial grass species. **Physiologia Plantarum**, v. 139, p. 93–106, 2010.

INOUE, M. T.; MARTINS, E. G. Variação sazonal da fotossíntese e clorofila em progênies de *Grevillea robusta* Cunn. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.8, p.113-124, 2006.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p.11-19, 2005.

KAISER, W.M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, v.71, p.142–149, 1987.

KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. **Agronomie**, v. 4, n.10, p.999-1008, 1984.

KAWAKAMI, E.M.; OOSTERHUIS, D.M.; SNIDER, J.L. Physiological effects of 1-methylcyclopropene on well-watered and water-stressed cotton plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 29, p. 280–288, 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.  
KOYRO, H. W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.136–146, 2006.

KUSVURAN, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). **African Journal Agricultural Research**, v. 7, n. 5, p. 775-781, 2012.

LACERDA, C. F. de.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B. da.; PRISCO, J. T. GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-decorda irrigada com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p.221-230, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532 p.  
LEIDI, E.O.; LÓPEZ, J.M.; GORHAM, J.; GUTIÉRREZ, J.C. Variation in carbon isotope discrimination and other traits related to drought tolerance in upland cotton cultivars under dryland conditions. **Field Crops Research**, v.61, p. 109–123, 1999.

LIMA, C.S. de. **Mudanças da expressão de proteínas induzidas por estresses isolados e combinados de seca e temperatura elevada em folhas de cajueiro**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MACHADO, E. C., et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAROCO, J.P.; RODRIGUES, M.L.; LOPES, C.; CHAVES, M. M.. Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought metabolic and modelling approaches. **Functional Plant Biology**, v. 29, p.451–459, 2002.

- MATOS, N. N.; TEXEIRA JUNIOR, A. C.; SILVEIRA, J. A. G. da. Influência do porta-enxerto no comportamento fisiológico de mudas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) submetidas a estresses. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 27-31, 2003.
- MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTO, J. M. Fotossíntese de laranja 'Valencia' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica **Bragantia**, v.57, n.1, p.1-14, 1998.
- MESQUITA, F. O. REBEQUI, A. M. CAVALCANTI, L. F. SOUTO, A. G. L. Crescimento absoluto e relativo de mudas de maracujazeiro sob biofertilizante e águas salinas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n.1, 2012.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.
- MUNNS, R., JAMES, R.A., SIRAULT, X.R.R., FURBANK, R.T., JONES, H.G. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.3499–3507, 2010.
- NAYYAR, H.; GUPTA, D. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants, **Environmental and Experimental Botany**, v.58, p.106–113, 2006.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão de -corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v.39, p.758-765, 2009.
- PETTIGREW, W.T. Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. **Crop Science**, v.44, p. 1265–1272, 2004.
- RUGGIERO, B., KOIWA, H., MANABE, Y., QUIST, T.M., INAN, G., SACCARDO, F., JOLY, R.J., HASEGAWA, P.M., BRESSAN, R.A., MAGGIO, A. Uncoupling the effects of ABA on plant growth and water relations: analysis of *sto1/nced3*, ABA deficient salt stress tolerant mutant in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, v. 136, n.1, p. 3134 – 3147, 2004.
- SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, 2012.
- SILVA, E.N. da; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v.68, p.62-68, 2011.
- SILVA, L. de A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. da S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO; W. dos S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros

sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S1–S7, 2014.

SILVEIRA, H. M.; FERREIRA, E. A.; SILVA, D. V.; NETO, M. D. C.; CARVALHO, F. P.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. Características fisiológicas de cultivares de mandioca após aplicação do mesotrione. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 403-409, 2013.  
SOHAN, D.; JASONI, R.; ZAJICEK, J. Plant – water relations of NaCl and calcium - treated sunflower plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.42, n.1, p. 105 – 111, 1999.

STEDUTO, P.; ALBRIZIO, R.; GIORIO, P.; SORRENTINO, G.; Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.44, n. 3, p.234-255, 2000.

SULTANA, N.; IKEDA, T, ITOH, R . Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany, Environ Exp Bot**, v. 1999. 42, :p.211–220, 1999.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, ARTMED. 4º ed., 2010, 719p

TEZARA, W., MITCHELL, W.J.; DRISCOLL, S.D.; LAWLOR, D.W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, v. 401, p.914–917, 1999.

THOMPSON, A. J., et al. Over production of abscisic acid in tomato increases transpiration efficiency and root hydraulic conductivity and influences leaf expansion, **Plant Physiology**, v.143, p. 1905-1917, 2007.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p.1085-1095, 2011.

WULLSCHLEGER, S.D.; OOSTERHUIS, D.M. Photosynthetic and respiratory activity of fruiting forms within the cotton canopy. **Plant Physiology**, v.94, p. 463–469, 1990.

YANG, X., CHEN, X., GE, Q., LI, B., TONG, Y., ZHANG, A., LI, Z., KUANG, T., LU, C. Tolerance of photosynthesis to photoinhibition, high temperature and drought stress in flag leaves of wheat: A comparison between a hybridization line and its parents grown under field conditions. **Plant Science**, v.171, p.389-397, 2006.

ZHANG,L.; ZHANG, G.; WANG, Y.; ZHOU, Z.; MENG, Y.; CHEN, B. Effect of soil salinity on physiological characteristics of functional leaves of cotton plants. **Journal Plant Res**, v.126, p.293–304, 2013.