



Toshik Iarley da Silva

Thiago Jardelino Dias

**TROCAS  
GASOSAS E  
FITOMASSA DE  
MANJERICÃO  
(*Ocimum  
basilicum* L.)  
SUBMETIDO  
AO ESTRESSE  
SALINO E ÁCIDO  
SALICÍLICO**

**TROCAS GASOSAS E  
FITOMASSA DE MANJERICÃO  
(*Ocimum basilicum* L.)  
SUBMETIDO AO ESTRESSE  
SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

**Reitora** MARGARETH DE FÁTIMA FORMIGA MELO DINIZ  
**Vice-Reitora** BERNARDINA MARIA JUVENAL FREIRE DE OLIVEIRA  
**Pró-Reitora PRPG** MARIA LUIZA PEREIRA DE ALENCAR MAYER FEITOSA



EDITORA UFPB

**Diretora** IZABEL FRANÇA DE LIMA  
**Supervisão de Administração** GEISA FABIANE FERREIRA CAVALCANTE  
**Supervisão de Editoração** ALMIR CORREIA DE VASCONCELLOS JUNIOR  
**Supervisão de Produção** JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS FILHO

**Conselho Editorial** ADAILSON PEREIRA DE SOUZA (Ciências Agrárias)  
ELIANA VASCONCELOS DA SILVA ESVAEL (Linguística, Letras e Artes)  
FABIANA SENA DA SILVA (Interdisciplinar)  
GISELE ROCHA CÔRTEZ (Ciências Sociais Aplicadas)  
ILDA ANTONIETA SALATA TOSCANO (Ciências Exatas e da Terra)  
LUANA RODRIGUES DE ALMEIDA (Ciências da Saúde)  
MARIA DE LOURDES BARRETO GOMES (Engenharias)  
MARIA PATRÍCIA LOPES GOLDFARB (Ciências Humanas)  
MARIA REGINA VASCONCELOS BARBOSA (Ciências Biológicas)

**Conselho Científico** MARIA AURORA CUEVAS-CERVERÓ (Universidad Complutense Madrid /ES)  
JOSÉ MIGUEL DE ABREU (UC/PT)  
JOAN MANUEL RODRIGUEZ DIAZ (Universidade Técnica de Manabi/EC)  
JOSÉ MANUEL PEIXOTO CALDAS (USP/SP)  
LETÍCIA PALAZZI PEREZ (UNESP/Marília/SP)  
ANETE ROESE (PUC Minas/MG)  
ROSÂNGELA RODRIGUES BORGES (UNIFAL/MG)  
SILVANA APARECIDA BORSETTI GREGORIO VIDOTTI (UNESP/Marília/SP)  
LEILAH SANTIAGO BUFREM (UFPR/PR)  
MARTA MARIA LEONE LIMA (UNEB/BA)  
LIA MACHADO FIUZA FIALHO (UECE/CE)  
VALDONILSON BARBOSA DOS SANTOS (UFCG/PB)



Editora filiada à: Associação Brasileira das Editoras Universitárias

Toshik Iarley da Silva  
Thiago Jardelino Dias

**TROCAS GASOSAS E  
FITOMASSA DE MANJERICÃO  
(*Ocimum basilicum* L.)  
SUBMETIDO AO ESTRESSE  
SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO**

Editora UFPB  
João Pessoa  
2020

Direitos autorais 2020 – Editora UFPB

Efetuada o Depósito Legal na Biblioteca Nacional, conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

**TODOS OS DIREITOS RESERVADOS À EDITORA UFPB**

É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio.

A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/1998) é crime estabelecido no artigo 184 do Código Penal.

O conteúdo desta publicação é de inteira responsabilidade do autor.

**Impresso no Brasil. Printed in Brazil.**

<b>Projeto Gráfico</b>	Editora UFPB
<b>Editoração Eletrônica e Design de Capa</b>	Josué Santiago
<b>Imagens da Capa</b>	Toshik Iarley da Silva e Thiago Jardelino Dias

**Catálogo na fonte:**

**Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba**

S586t Silva, Toshik Iarley da Trocac gasosas e fitomassa de manjerição ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) submetido ao estresse salino e ácido salicílico / Toshik Iarley da Silva, Thiago Jardelino Dias. - João Pessoa: Editora UFPB, 2020. 178 p. ISBN 978-85-237-1492-5 1. Salinidade. 2. Atenuante da salinidade. 3. Ecofisiologia. 4. Fitomassa. I. Dias, Thiago Jardelino. II. Título. UFPB/BC CDU: 582.929.4
---

Livro aprovado para publicação através do Edital Nº 01/2019, financiado pelo Programa de Apoio a Produção Científica - Pró-Publicação de Livros da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal da Paraíba.

**EDITORA UFPB** Cidade Universitária, Campus I, Prédio da Editora Universitária, s/n  
João Pessoa – PB  
CEP 58.051-970  
<http://www.editora.ufpb.br>  
E-mail: [editora@ufpb.edu.br](mailto:editora@ufpb.edu.br)  
Fone: (83) 3216.7147

# PREFÁCIO

Sob a tutela do prof. Dr. Thiago Jardelino Dias, um jovem e dedicado estudante de Pós-Graduação em Agronomia (PPGagro) da Universidade Federal da Paraíba, TOSHIK IARLEY DA SILVA, cursou mestrado entre fevereiro de 2017 e março de 2018 (12 meses), onde destacou-se pelo seu dinamismo e produtividade científica.

Durante este período desenvolveu trabalhos seguindo a linha de pesquisa de fitofisiologia e estresses abióticos, mais precisamente, buscando entender comportamento vegetal de plantas sob estresse salino e técnicas que mitigassem o efeito de tais sais. Em sua dissertação voltou seus estudos para compreender a relação solo-água salina-plantas de manjerição e se o ácido salicílico poderia ser utilizado como um atenuante dos prejuízos causados pela salinidade na fisiologia e produção desta importante planta aromática/medicinal que possui usos diversos, utilizado para fins medicinais, culinários, ornamentais e, principalmente, produção de óleo essencial rico em linalol, substância utilizada na fabricação de cosméticos. Assim dito, a compilação dos dados obtidos durante estas pesquisas deram origem a este livro.

Conhecer da fisiologia vegetal se faz necessário para o manejo de qualquer cultura, pois pode otimizar recursos (insumos), direcionar tratamentos culturais e elevar produtividade. Ultimamente uma forma prática e rápida para avaliação das respostas ecofisiológicas dos vegetais é a determinação das trocas gasosas e seus pigmentos fotossintéticos, estes parâmetros de fácil leitura (medição), nos permitem aprofundar e entender modificações das plantas a estímulos ambientais.

Apesar do cerne da obra girar entorno de dados experimentais, o leitor encontrará sempre que possível, interpretações práticas que podem muito bem, ser compreendidas nas mais diversas áreas e graus de formação (estudantes, pesquisadores e agricultores experimentadores). Tratando a temática dos aspectos ecofisiológicos de Manjerição (*Ocimum basilicum*)

sob estresse salino e ácido salicílico, avaliando e acompanhando os efeitos da condutividade elétrica da água nas várias fases de desenvolvimento da cultura (crescimento, florescimento, produção de biomassa e qualidade das sementes). Ao final, como grande contribuição científica, encontramos bem esmiuçado no livro sugestões de manejo da irrigação/adubação deste valioso recurso genético vegetal (manjerição), nos dando pistas de como poderemos enfrentar/combater (conviver) o desafio de produzir alimentos, gerar renda em áreas que apresentam problema com salinidade do solo e/ou água.

Álvaro Carlos Gonçalves Neto  
UFRPE

# SUMÁRIO

RESUMO DA OBRA.....9

INTRODUÇÃO .....11

## CAPÍTULO I

### ECOFISIOLOGIA E FITOMASSA DE MANJERICÃO

(*Ocimum basilicum*) SUBMETIDO AO ESTRESSE

SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO .....13

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE *Ocimum basilicum*

SOB ESTRESSE SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO .....33

## CAPÍTULO III

### ÁCIDO SALICÍLICO NA ECOFISIOLOGIA E

CRESCIMENTO DE MANJERICÃO (*Ocimum*

*basilicum*) SUBMETIDO AO ESTRESSE SALINO .....57

## CAPÍTULO IV

### SALINIDADE HÍDRICA E ÁCIDO SALICÍLICO

NO CRESCIMENTO, FITOMASSA E TROCAS

GASOSAS DE *Ocimum basilicum* L.....83

## CAPÍTULO V

### QUALIDADE DE SEMENTES DE *Ocimum*

*basilicum* SUBMETIDAS AO ESTRESSE

SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO .....103



**CAPÍTULO VI**  
**GROWTH AND PHYSIOLOGY OF *Ocimum***  
***basilicum* SUBMITTED TO SALINITY STRESS**  
**AND SALICYLIC ACID ..... 119**

**CAPÍTULO VII**  
**ECHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF *Ocimum basilicum***  
**UNDER SALINE STRESS AND SALICYLIC ACID ..... 145**

**REFERÊNCIAS ..... 169**

## RESUMO DA OBRA

A salinidade é um dos grandes entraves da agricultura moderna, afetando os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, e conseqüentemente, o seu crescimento e produtividade. Atualmente, buscam-se estratégias para amenizar os efeitos danosos dos sais às plantas, dentre esses o uso do ácido salicílico. Com vista nisso, objetivou-se avaliar o efeito atenuante do ácido salicílico na ecofisiologia, crescimento, fitomassa e qualidade de sementes de manjerição (*Ocimum basilicum L. cv. Cinnamon*) submetido ao estresse salino. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, em esquema fatorial incompleto (Composto Central de Box) com cinco condutividades elétricas da água de irrigação (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de ácido salicílico (0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e 2,0 mM), com cinco repetições. As variáveis analisadas foram trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração, concentração de carbono interno, déficit de pressão de vapor, eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência intrínseca de carboxilação); fluorescências de clorofila (fluorescência inicial, máxima, variável e rendimento quântico do fotossistema II); índices de clorofila (clorofilas a, b e total); crescimento (altura, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar); fitomassa (massa da raiz, caule, folhas e inflorescências) e qualidade de sementes (germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, comprimento de raiz, comprimento de parte aérea, comprimento de plântula, emergência, índice de velocidade de emergência e massa seca da plântula). Os dados foram submetidos à análise de variância e à análise de regressão. O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afetou negativamente a ecofisiologia, crescimento e fitomassa de manjerição. Contudo, aos 30 dias após o início do estresse as condutividades de até 5,2 dS m<sup>-1</sup> favoreceram os índices de clorofilas, Fv/Fm, condutância estomática, transpiração e concentração de carbono interno. A qualidade de sementes foi influenciada positivamente pela aplicação de ácido salicílico até 1,0 mM. O ácido salicílico possui ação benéfica até 1,0 mM para a maioria das variáveis analisadas.



## INTRODUÇÃO

O gênero *Ocimum* é considerado um dos maiores gêneros da família Lamiaceae com mais de 150 espécies catalogadas. O mesmo é representado por plantas anuais, perenes e arbustos, nativos das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África, América Central e do Sul. *Ocimum basilicum* L., popularmente conhecido como manjeriço, é cultivado em diversas regiões do planeta (SNOUSSI *et al.*, 2016).

A cultura do manjeriço possui usos diversos, utilizado para fins medicinais, culinários, ornamentais e, principalmente, para a extração de óleo essencial, rico em linalol. Este, possui grande valorização nas indústrias farmacêuticas, alimentícias, para aromatização de alimentos e bebidas, de perfumaria e de fármacos. Seu uso ainda agrega a sua capacidade inseticida, acaricida, bactericida, biorremediadora em solos afetados por pesticidas, dentre outros (BIONE *et al.*, 2014). É recomendado para problemas gastrointestinais, respiratórios, infecções bacterianas e parasitas intestinais, além de melhorar a digestão dos alimentos, sendo utilizado, em geral, na forma de infusão das folhas (PAULUS *et al.*, 2016).

O manjeriço é uma planta que possui melhor desenvolvimento em regiões de clima quentes e amenos, o que lhe confere características apropriadas para o seu cultivo na região do Nordeste brasileiro. Podendo-se cultivar em pequenas propriedades por pequenos e médios produtores, e, conseqüentemente, gerar uma fonte de renda alternativa, principalmente com a comercialização do seu óleo essencial (PEREIRA; MOREIRA, 2011).

Vários fatores relacionados aos aspectos agrônômicos podem afetar a produção de biomassa e as propriedades físicoquímicas de espécies medicinais e condimentares. Dentre estes, pode-se citar o preparo do solo, espaçamento, manejo da irrigação, adubação e reguladores vegetais (FERNANDES, 2014), como também o estresse salino (TARCHOUNE *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2015).

A região semiárida do Nordeste brasileiro apresenta diversos fatores que limitam o desenvolvimento de diversas espécies vegetais, como as temperaturas elevadas, insuficiência hídrica e a disponibilidade de água com elevados teores de sais (ALVES *et al.*, 2015). A salinidade está entre os maiores fatores ambientais que limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Visto que mais de 900 milhões de hectares de áreas agricultáveis no mundo são afetadas pela salinidade (MANCARELLA *et al.*, 2016).

A salinidade gera diversos distúrbios no metabolismo das plantas, gerando restrição no crescimento e detrimento na produtividade. Os primeiros causados pelo excesso de sais são os efeitos osmóticos que restringem o transporte de água na planta. Posteriormente, é desencadeada um conjunto de reações, moduladas por hormônios, que causam restrição à abertura estomática e assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub> (SILVEIRA *et al.*, 2010). Para a cultura do manjericão, vários trabalhos foram desenvolvidos no aspecto de compreender os efeitos da salinidade na produtividade desta cultura (TARCHOUNE *et al.*, 2010; BARBIERI *et al.*, 2012; BIONE *et al.*, 2014; SAHAY; PATRA, 2014).

As plantas produzem compostos orgânicos em respostas aos estresses advindos do meio em que estão inseridas. Esses compostos funcionam como atenuantes e são chamados de hormônios vegetais, dentre esses, está o ácido salicílico. O ácido salicílico é um derivado fenólico, distribuído por uma ampla variedade de espécies de plantas. É considerada como uma substância semelhante a um hormônio, que desempenha um papel importante na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas, germinação das sementes, movimentação dos estômatos, produção de frutos, glicólise, florescimento e produção de calor em plantas termogênicas (BAGHERIFARD *et al.*, 2015).

Dentro da perspectiva de encontrar possíveis atenuantes dos efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas, objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito do ácido salicílico como atenuante da salinidade da água de irrigação na ecofisiologia, crescimento e fitomassa de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon).

## CAPÍTULO I

# ECOFISIOLOGIA E FITOMASSA DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum*) SUBMETIDO AO ESTRESSE SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO

## 1 INTRODUÇÃO

A salinização afeta muitas áreas irrigadas principalmente devido ao uso de água com restrição de uso, com teores elevados de sais. Em todo o mundo, mais de 45 milhões de hectares de terras irrigadas foram danificados pelo incremento de sais, principalmente em áreas irrigadas, sendo que 1,5 milhão de hectares são salinizados anualmente (MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013). Esse é um dos grandes problemas para muitas culturas agrícolas, principalmente nos locais onde os recursos hídricos são escassos, visto que, o estresse salino pode diminuir o crescimento e o rendimento da planta, afetando, também, a fotossíntese, a composição mineral e a absorção de nutrientes essenciais, além de causar desequilíbrio ou toxicidade iônica (BEKHRADI *et al.*, 2015).

Procurando alternativas para minimizar os efeitos deletérios da salinidade às plantas, diversas estratégias são utilizadas, dentre elas, o uso do ácido salicílico. Este ácido pertence ao grupo dos compostos fenólicos e é considerado um hormônio, atuando como indutor eficaz na expressão de genes envolvidos na resistência que codifica as proteínas relacionadas ao estresse (ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015).

Muitos trabalhos são desenvolvidos com espécies medicinais e condimentares quanto ao seu cultivo em ambientes salinos (MANCARELLA *et al.*, 2016; MESQUITA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017; MAIA *et al.*, 2017). Dentre essas espécies, destaca-se o manjericão (*Ocimum basilicum* L.), caracterizada como uma planta

herbácea pertencente à família Lamiaceae e comumente utilizada como condimentar e medicinal. Possui óleo essencial muito utilizado nas indústrias químicas, farmacêuticas e de cosméticos (JAKOVLJEVIĆ *et al.*, 2017).

Quanto ao efeito do ácido salicílico como atenuante da salinidade no cultivo do manjericão são citados vários trabalhos na literatura científica que usam o ácido salicílico para combater os efeitos osmóticos, tóxicos e oxidativos que a salinidade causa em plantas de manjericão (PARIZI *et al.*, 2011; SHEKOOFEH *et al.*, 2012; MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013; ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015). No entanto, estes ainda são escassos, principalmente nas condições climáticas do Nordeste brasileiro. Com vista nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito atenuante do ácido salicílico na ecofisiologia e na fitomassa de manjericão (*Ocimum basilicum* L. cv. Cinnamon) submetidas ao estresse salino.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba localizado no município de Areia, PB (6° 51' 47" S; 35° 34' 13" O; 575 m), durante os meses de maio a agosto de 2017. O solo utilizado foi classificado como Planossolo (EMBRAPA, 2014), textura franco-arenosa, com as seguintes características físicas: Areia (g kg<sup>-1</sup>): 756,9; silte (g kg<sup>-1</sup>): 59,1; argila (g kg<sup>-1</sup>): 184,0; densidade aparente (kg dm<sup>-3</sup>): 1,38; densidade de partícula (kg dm<sup>-3</sup>): 2,67; porosidade total (%): 48; capacidade de campo (g kg<sup>-1</sup>): 78; ponto de murcha permanente (g kg<sup>-1</sup>): 43.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de ácido salicílico (AS) (0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e 2,0 mM L<sup>-1</sup>), geradas através da matriz Composto Central de Box (CCB), perfazendo nove combinações, com cinco repetições e duas plantas por repetição. Para fins de irrigação foram utilizadas

quatro plantas conduzidas sob 0,5 dS m<sup>-1</sup> e 0,0 mM L<sup>-1</sup> de AS. A análise de salinidade da água é mostrada a seguir (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise de química das águas salinas utilizadas para irrigação

	Condutividades				
	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
pH	7,70	7,60	7,90	6,30	7,80
CEa	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3,13	3,66	4,22	4,26	4,60
K <sup>+</sup>	0,26	0,19	0,22	0,20	0,20
Na <sup>+</sup>	2,28	9,37	25,44	40,62	49,56
Ca <sup>+2</sup>	2,01	1,83	1,93	1,99	0,90
Mg <sup>+2</sup>	1,08	0,98	0,86	0,84	0,90
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,93	0,85	1,07	1,15	1,10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,67	2,50	2,50	2,83	2,67
Cl <sup>-</sup>	4,17	12,50	32,83	54,00	63,83
RAS	2,27	9,79	25,90	40,72	49,56
PST	2,05	11,65	26,98	37,03	41,81
Class.	Normal	Salino	S. sódico	S. sódico	S. sódico
	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>

As mudas utilizadas foram da cv. Cinnamon, produzidas em bandejas de polietileno de 162 células, sendo que aos 25 dias após plantio (DAP), as mesmas foram transplantadas para vasos com substrato previamente umedecido até a sua capacidade de campo. As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 5,0 dm<sup>3</sup> preenchidos por solo adicionando-se 100 g de esterco de aves por vaso. Foi coletada uma amostra da mistura do solo e do esterco para a análise dos atributos químicos, com os seguintes resultados: pH (H<sub>2</sub>O): 6,9; P (mg dm<sup>-3</sup>): 11,71; K<sup>+</sup> (mg dm<sup>-3</sup>): 873,43; Na<sup>+</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,24; H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 1,6; Al<sup>+3</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,00; Ca<sup>+2</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 4,65; Mg<sup>+2</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,39; soma de bases (cmol dm<sup>-3</sup>):



7,52; capacidade de troca de cátions ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 9,12; saturação por bases (%): 82,45; matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ): 22,73.

As irrigações com águas salinas foram realizadas após o transplante à medida que se foi necessário, utilizando-se como parâmetro a lisimetria de drenagem. A água com as condutividades elétricas (CEa) desejadas foram preparadas adicionando-se uma mistura de sais de NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (7:2:1) em água não clorada ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) proveniente de local do experimento (MEDEIROS, 1992). Para a preparação das doses de ácido salicílico utilizou-se água destilada e adicionado Tween 80 a 0,05% como tensoativo, para melhorar a absorção foliar. O tratamento controle para esse fator foi preparado com água destilada e Tween 80. As plantas foram borrifadas (cerca de 10 mL por planta) até serem molhadas completamente, com as soluções acima descritas, semanalmente, durante de 21 dias.

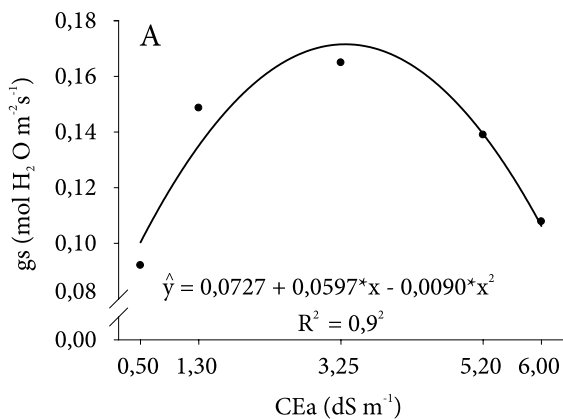
As determinações das trocas gasosas foram realizadas aos 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI), utilizando um analisador de gás infravermelho (LI-COR® - modelo LI-6400XT, Nebraska, USA), sendo as medições aferidas entre as 9 e 10 h. Mediu-se as variáveis: taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs) ( $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração de carbono interno (Ci) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor (DPV) ( $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ ), eficiência do uso da água ( $\text{EUA} = \text{A}/\text{E}$ ) e eficiência intrínseca de carboxilação ( $\text{EiC} = \text{A}/\text{Ci}$ ).

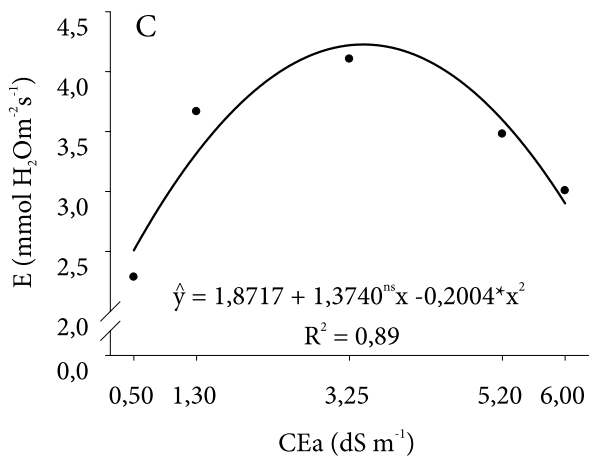
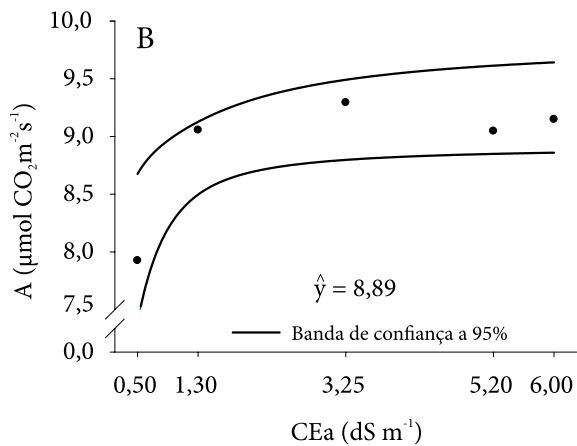
Para as avaliações das variáveis da fluorescência de clorofila foi utilizado fluorômetro modulado (Opti-Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA), sendo colocadas pinças foliares por 30 minutos antes das leituras para adaptação das folhas ao escuro. Foram mensuradas a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v = F_m - F_0$ ) e rendimento quântico do fotossistema II ( $\text{PSII} = F_v / F_m$ ). As determinações do índice de clorofila a, b e total foram realizados na terceira folha desenvolvida (do ápice) pelo método não destrutivo, utilizando-se clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS), tendo os valores dimensionados em índice

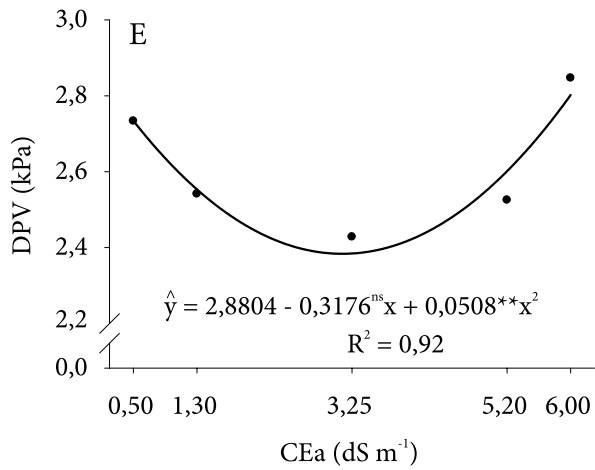
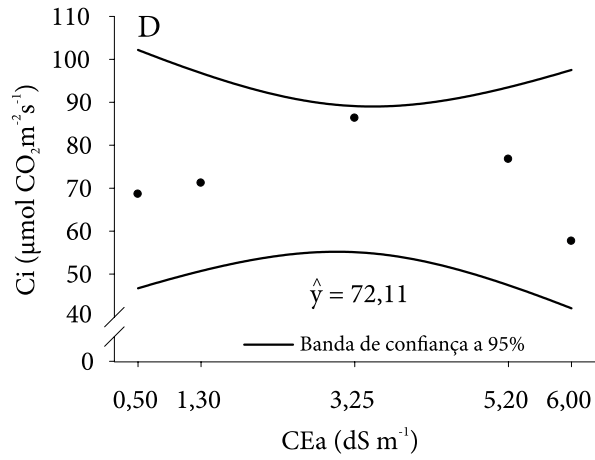
de clorofila Falker (ICF). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão utilizando o programa estatístico SAS University (CODY, 2015).

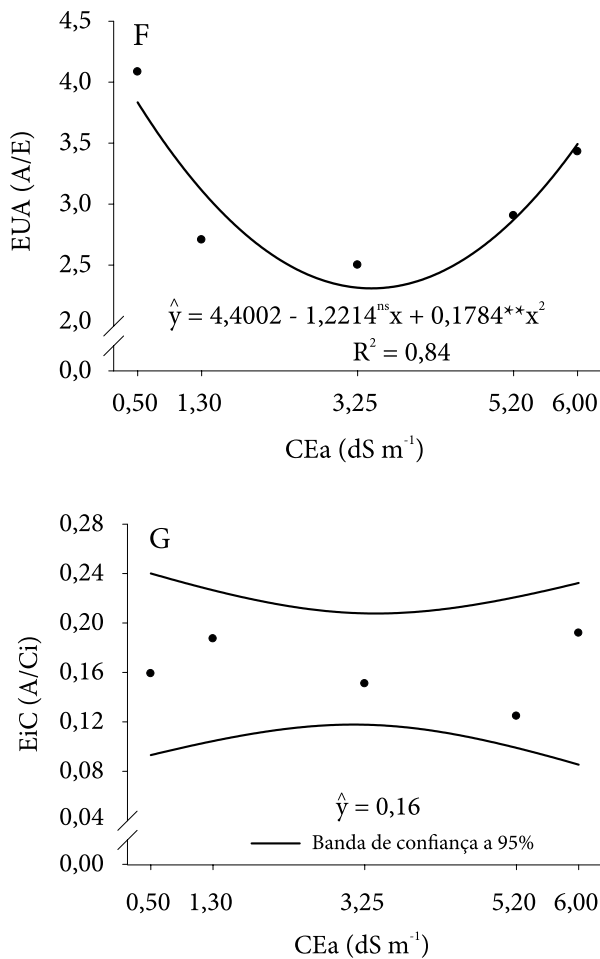
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interações significativas entre os fatores avaliados. No entanto, o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afetou condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração de carbono interno (Ci), déficit de pressão de vapor (DPV) e eficiência de uso da água, enquanto que a fotossíntese líquida (A) e eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) não foram afetadas (Figura 1).









**Figura 1.** Condutância estomática (gs - A), fotossíntese líquida (A - B), transpiração (E - C), concentração de carbono interno (Ci - D), déficit de pressão de vapor (DPV - E), eficiência de uso da água (EUA - F) e eficiência intrínseca de carboxilação (EiC - G) em plantas de manjericão em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) aos 60 dias após irrigação com água salina. \*, \*\*, ns: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente

A condutância estomática atingiu valor máximo de 0,16 mol m<sup>-2</sup> H<sub>2</sub>O s<sup>-1</sup> na CEa de 3,25 dS m<sup>-1</sup> (Figura 1A), com decréscimo posterior.

Neste caso, até essa condutividade ocorreu a maior abertura estomática, proporcionando à planta a realização de seus processos fotossintéticos sem restrição estomática. O mesmo comportamento foi observado transpiração (Figura 1C) e concentração de carbono interno (Figura 1D). Enquanto que comportamento inverso foi notado para o déficit de pressão de vapor e eficiência de uso da água, onde a CEa de 3,13 e 3,42 dS m<sup>-1</sup> foi a que mostrou os menores resultados, respectivamente. Para a eficiência intrínseca de carboxilação e para a fotossíntese líquida observou-se comportamento constante. Isso pode estar atrelado ao fechamento dos estômatos que podem resultar na diminuição na fotossíntese, na taxa de transpiração e concentração interna de CO<sub>2</sub> nas folhas (BYBORDI, 2012).

Attia *et al.* (2011) ao avaliarem os efeitos da salinidade em duas cultivares de manjericão verificaram que a diminuição da condutância estomática restringiu a taxa de fixação de CO<sub>2</sub>, como também, a atividade fotossintética. A fotossíntese é inibida sob estresse salino, contudo, este fato não é apenas atribuído ao fechamento de estômatos que leva a uma redução na concentração de CO<sub>2</sub> intracelular, mas também a fatores não-estomáticos (BEKHRADI *et al.*, 2015). Na maioria das situações, a fotossíntese em plantas sob estresse salino diminui significativamente, devido à atividade das enzimas responsáveis pelo processo fotossintético, podendo ser um efeito secundário mediado pela redução da pressão parcial de CO<sub>2</sub> nas folhas causada pelo fechamento estomático. Além disso, a salinidade pode afetar os processos bioquímicos da fotossíntese, causando a desorganização do sistema laminar de a perda da integridade dos cloroplastos, levando a uma diminuição nas atividades dos fotossistemas (BYBORDI, 2012).

A aplicação de ácido salicílico (AS) não apresentou efeitos significativos para as variáveis de trocas gasosas, no entanto, os valores médios foram descritos visando demonstrar o comportamento (Tabela 2).

A condutância estomática sofreu decréscimo até a aplicação de 1,0 mM de AS, no entanto, ao aumentar a molaridade percebeu-se que houve aumento para essa variável, visto que em 2,0 mM foi observada a maior média (0,17 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Esse mesmo comportamento foi observado

para a transpiração e para a concentração de carbono interno. Quanto à fotossíntese líquida, houve um aumento entre 1,71 mM, decrescendo posteriormente. Nazar *et al.* (2011) ao estudarem duas cultivares de *Vigna radiata* sob estresse salino e aplicação de 0,5 mM de AS, destacam que houve aumento da fotossíntese líquida em ambas as cultivares com aumento simultâneo da condutância estomática e concentração de carbono interno. Destacam ainda, que o CO<sub>2</sub> é utilizado de forma mais eficiente quando se aplicou 0,5 mM de AS sob o estresse salino.

**Tabela 2.** Condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A), transpiração (E), concentração de carbono interno (Ci), déficit de pressão de vapor (DPV), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) em plantas de manjericão em função da aplicação de ácido salicílico aos 60 dias após irrigação com água salina

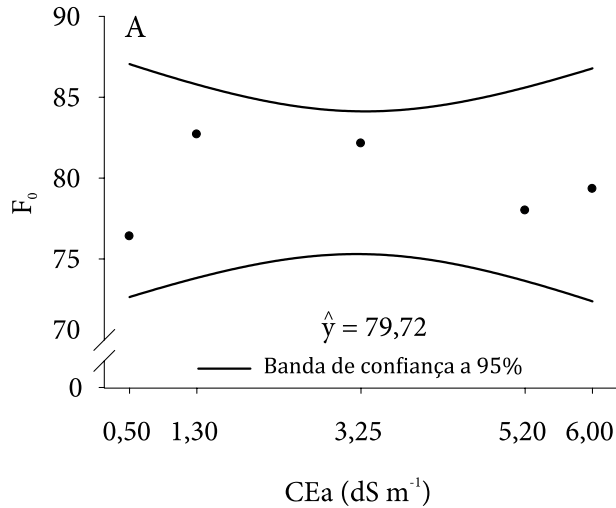
Ácido salicílico	Médias						
	gs	A	E	Ci	DPV	EUA	EiC
0,00	0,16	9,37	4,06	80,24	2,47	2,62	0,19
0,29	0,15	8,89	3,57	73,75	2,51	2,7	0,16
1,00	0,12	8,94	3,03	66,29	2,7	3,4	0,18
1,71	0,14	9,22	3,57	74,21	2,56	2,92	0,15
2,00	0,17	8,74	4,24	100,37	2,37	2,25	0,09

A fotossíntese é um importante variável para monitorar o estresse abiótico em plantas, bem como a sua relação com a condutância estomática (YARAMI; SEPASKHAH, 2015). A concentração interna de carbono está estritamente relacionada à condutância estomática, e, quando há acréscimo nesta há, também, na primeira. Com isso, o desempenho fotossintético pode ser limitado pela restrição estomática, visto que, quanto maior a abertura estomatal há maior difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática (SILVA *et al.*, 2015).

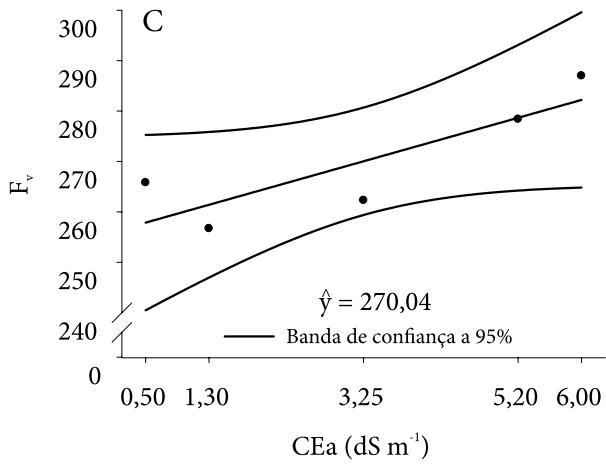
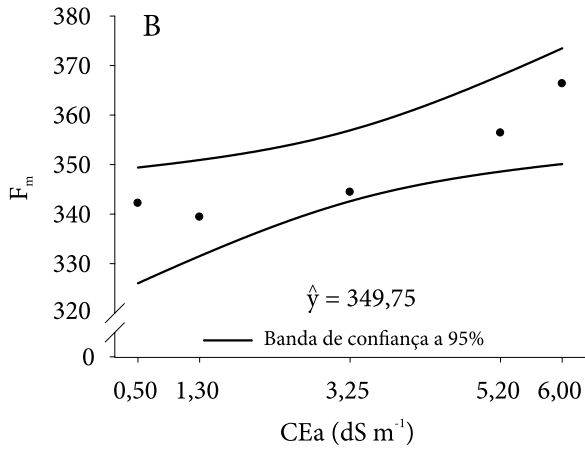
Para o déficit de pressão de vapor houve um aumento gradativo até a CEa de 3,25 dS m<sup>-1</sup>, reduzindo nas CEa superiores, efeito semelhante

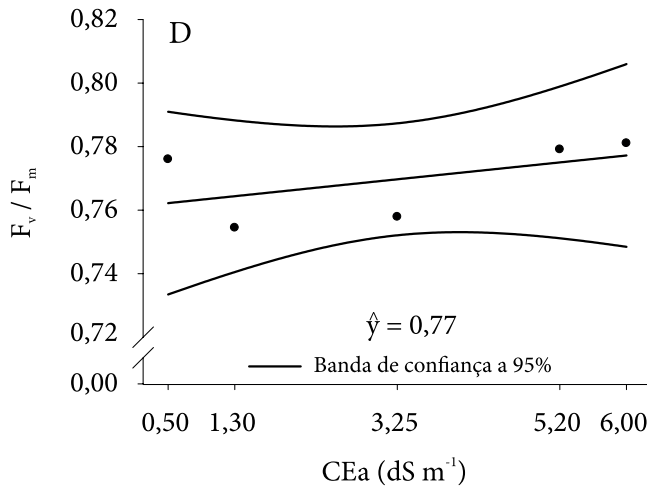
foi notado para a eficiência do uso da água. A eficiência intrínseca de carboxilação sofreu decréscimo em aplicação de AS acima de 1,0 mM. Segundo Alvarenga *et al.* (2014), o déficit de pressão de vapor é a diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor d'água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada. Com isso, quanto maior o estresse do qual a planta está submetida, maior será essa variável, como pode ser observado na Tabela 1.

A fluorescência inicial, fluorescência máxima, fluorescência variável e rendimento quântico máximo do PSII em plantas de manjericão em função da CEa são mostrados a seguir na Figura 2.









**Figura 2.** Fluorescência inicial ( $F_0$  - A), fluorescência máxima ( $F_m$  - B), fluorescência variável ( $F_v$  - C) e rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$  - D) em plantas de manjeriço em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) aos 60 dias após irrigação com água salina

A fluorescência inicial (Figura 2A) apresentou oscilações quanto ao aumento da CEa, no entanto, percebe-se que entre as CEas de 1,3 e 5,2  $\text{dS m}^{-1}$  há um decréscimo nessa variável. As fluorescências máxima e variável e o rendimento quântico do PSII ( $F_v/F_m$ ) (Figuras 2B, 2C e 2D, respectivamente) apresentaram aumento à medida que se elevou a CEa. O rendimento quântico do PSII (Figura 2D) apresentou maior média na CEa de 6,0  $\text{dS m}^{-1}$  de 0,78 elétrons  $\text{quantum}^{-1}$ . Plantas com valores de  $F_v/F_m$  inferiores a 0,75 elétrons  $\text{quantum}^{-1}$  apresentam situação de estresse, o que reduz seu potencial fotossintético da planta. Quando esses valores variam entre 0,75 e 0,85 elétrons  $\text{quantum}^{-1}$  é indicativo de que a planta está com seu aparelho fotossintético intacto (SILVA *et al.*, 2015). Com isso, ressalta-se que a CEa não afetou o aparelho fotossintético das plantas de manjeriço.

Ao avaliarem o efeito do estresse salino em *Atriplex numularia*, Melo *et al.* (2017), afirmam que, geralmente, as reduções na produção quântica do PSII podem estar condicionadas à degradação da clorofila,

principalmente a clorofila a. Para essa mesma variável, Mancarella *et al.* (2016) relatam que as duas cultivares de manjericão (Napolitano e Genovese), possuem um nível relativamente alto de tolerância ao estresse salino, apresentando valores entre 82 e 85%, sendo esses valores próximos aos observados na presente pesquisa nas plantas submetidas à CEa de 6 dS m<sup>-1</sup> (Figura 2D).

O declínio fotossintético, causado pelo estresse salino, induz um excesso de excitação de energia, o que pode causar danos adicionais aos sistemas fotossintéticos se não dissipada adequadamente. Além disso, a produção de EROs (Espécies Reativas de Oxigênio) é aumentada pela energia em excesso, o que pode inibir a síntese da proteína D1 e danificar diretamente o PSII por oxidação. Portanto, as medições da fluorescência da clorofila fornecem uma boa avaliação do estado em que a planta se encontra, além de fornecer informações para o estabelecimento de uma relação causa-efeito entre mecanismos que controlam o equilíbrio da água e o crescimento da planta (MANCARELLA *et al.*, 2016).

O ácido salicílico não apresentou efeito significativo para as variáveis de fluorescência de clorofila (Tabela 3). Contudo, os valores médios são descritos abaixo como forma de mostrar o efeito deste ácido, mesmo que não significativo, em plantas de manjericão submetidas ao estresse salino.

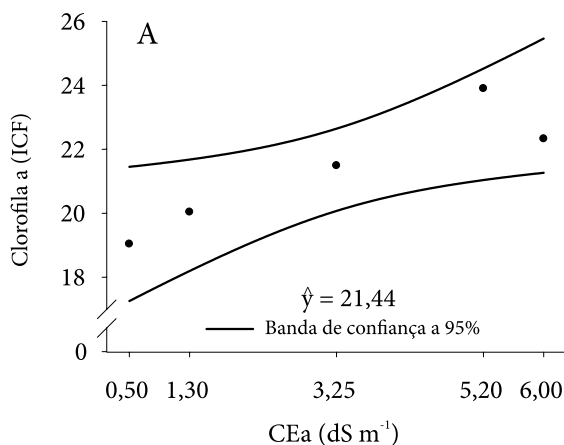
**Tabela 3.** Fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) em plantas de manjeriço em função da aplicação de ácido salicílico aos 60 dias após irrigação com água salina

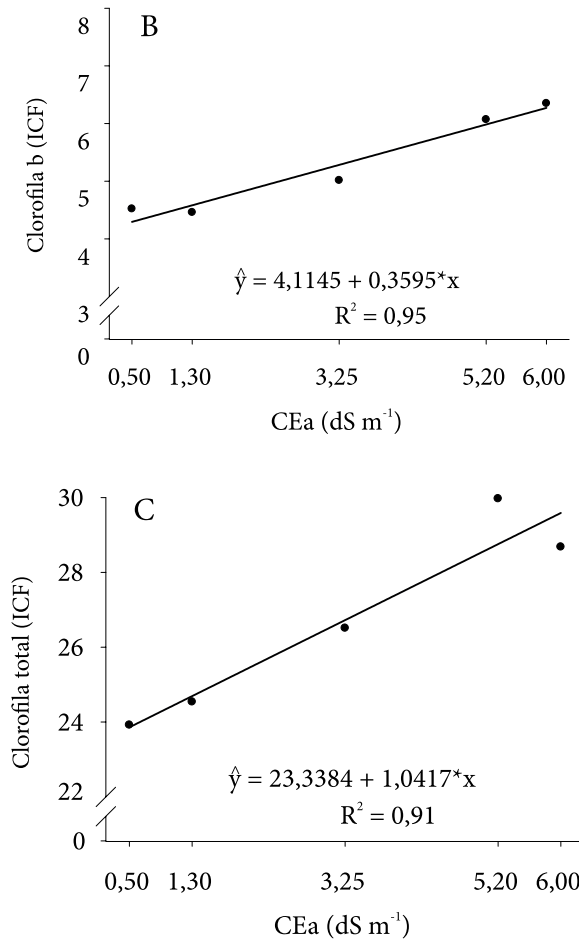
Ácido salicílico	Médias			
	$F_0$	$F_m$	$F_v$	$F_v/F_m$
0,00	79,60	347,40	267,80	0,77
0,29	79,50	346,009	266,50	0,77
1,00	78,80	355,87	277,07	0,78
1,71	81,20	349,80	268,60	0,77
2,00	85,60	331,20	245,60	0,74

A fluorescência inicial ( $F_0$ ) apresentou aumento médio a partir da aplicação de 1,71 mM de AS. As fluorescências máximas ( $F_m$ ) e variável ( $F_v$ ) e o rendimento do PSII ( $F_v/F_m$ ) foram influenciados positivamente até a aplicação de 1,0 mM. Ao aumentar a molaridade, diminuiu-se os valores médios dessas variáveis. A aplicação de 2,0 mM de AS apresentou valor médio de 0,74 elétrons quantum<sup>-1</sup>, o que infere em afirmar que houve danos no aparelho fotossintético. Isso pode estar associado ao efeito tóxico desse ácido quando em altas concentrações nas plantas. Arfan *et al.* (2007) ao avaliarem o efeito do AS sobre plantas de trigo submetidas ao estresse salino, destacam que até a 1,0 mM de aplicação desse ácido não alterou o rendimento quântico do PSII, resultado semelhante ao encontrado na presente pesquisa. Nazar *et al.* (2011) ressaltam que a diminuição dos efeitos induzidos pelo estresse salino na fotossíntese líquida e na eficiência da PSII pela aplicação de 0,5 mM de AS em duas cultivares de *V. radiata*, pode ser atribuído à alocação de N e S às folhas. Destacam, ainda, que o nitrogênio influencia a estrutura e na composição dos aparelhos fotossintéticos, visto que o teor de ribulose 1,5, bisfosfato carboxilase (rubisco) aumenta linearmente com o acúmulo de N nas folhas.

Os índices de clorofilas (ICF) a, b e total, são mostrados na Figura 3. Observou-se comportamento linear para as clorofilas b e total, já a clorofila a não foi influenciada.

A clorofila a manteu-se constante com o aumento da CEa. Para o índice de clorofila total houve aumento até a CEa de  $5,2 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que para o índice de clorofila b os quais aumentaram à medida que se elevou a CEa. Esse fato pode estar relacionado aos mecanismos de defesa da planta em ajustar-se em condições de estresse, aumentando o seu aparato fotossintético. O estresse salino em plantas pode comprometer vários processos fisiológicos como o potencial osmótico, a taxa fotossintética, a síntese hormonal, dentre outros, além dos ecofisiológicos como a redução da biomassa, necrose foliar, diminuição da clorofila, são exemplos (TRIVELLINI *et al.*, 2014).





**Figura 3.** Clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) em plantas de manjericão em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) aos 60 dias após irrigação com água salina. \* Significativo a 5%

Ao testarem o efeito do estresse salino em dois genótipos de manjericão, Heidari (2012) destaca que ao aumentar a CEa de 0 a 6 dS m<sup>-1</sup> houve diminuição nos teores de clorofila a e b. De acordo com o mesmo, a salinidade reduz o teor de clorofila em plantas suscetíveis ao sal e a aumenta em plantas tolerantes, além de salientar que a diminuição do conteúdo de clorofila em plantas sob estresse salino pode estar relacionada

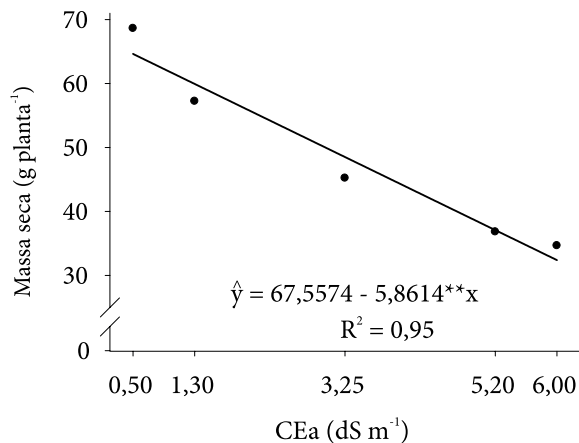
à fotoinibição ou à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), podendo ser a diminuição da atividade fotossintética atribuída a isso. A aplicação de AS não afetou significativamente o conteúdo de clorofila (Tabela 4).

O teor de clorofila a decresceu até a aplicação de 1,0 mM, sendo que a partir desta houve aumento, visto que quando se aplicou 2,0 mM observou-se a maior média (33,89 ICF). O mesmo comportamento foi observado para o teor de clorofila total. O maior conteúdo de clorofila b foi observado no tratamento controle (0,0 mM), sendo que, a partir desse houve um decréscimo até a molaridade de 1,00 mM, mantendo-se relativamente estável nas molaridades subsequentes. Gautam e Singh (2009) ao avaliarem o efeito mitigador do estresse salino em *Zea mays*, destacam que o conteúdo de pigmentos fotossintéticos, clorofila a, b e carotenoides diminuiu significativamente sob o estresse salino, no entanto na presença de 0,5 mM de AS, os efeitos do estresse foram reduzidos até 50%. Ainda segundo os mesmos autores, o AS deve aumentar o estado funcional das maquinarias fotossintéticas, quer pela mobilização do nitrato no tecido interno ou pela biossíntese de clorofila. Os efeitos benéficos da aplicação em baixas concentrações de AS na taxa fotossintética podem estar relacionados à prevenção da oxidação das auxinas por este ácido, uma vez que níveis elevados de auxinas aumentam a atividade da taxa fotossintética e da nitrato redutase. À medida que a taxa fotossintética aumenta, a eficiência de carboxilação, o teor de clorofila e as atividades da anidrase carbônica e do nitrato redutase também são reguladas (RIVAS-SAN VICENTE; PLASENCIA, 2011).

A massa da matéria seca em função da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 4) e da aplicação de ácido salicílico (Tabela 5) é mostrada a seguir. Observou-se que o aumento da condutividade elétrica influenciou negativamente esta variável. Em estudos realizados por Barbieri et al. (2012), os autores relatam que o manjericão demonstrou significativa tolerância à salinidade, embora com uma redução expressiva do peso fresco e da área foliar.

**Tabela 4.** Clorofila a (Ca), clorofila b (Cb) e clorofila total (Ct) em plantas de manjericão em função da aplicação de ácido salicílico aos 60 dias após irrigação com água salina

Ácido salicílico	Médias		
	Ca	Cb	Ct
0,00	33,63	13,74	47,37
0,29	33,29	11,78	45,07
1,00	33,25	11,50	44,05
1,71	33,59	11,53	44,12
2,00	33,89	11,58	45,47



**Figura 4.** Massa seca de plantas de manjericão em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e da aplicação de ácido salicílico. \*, \*\*: Significativo a 5 e 1%, respectivamente

A massa seca de plantas de manjericão sofreu decréscimo à medida que se aumentou a CEa (Figura 7A), em um comportamento polinomial quadrático. Já para a aplicação de ácido salicílico, notou-se que até 1,0 mM, houve aumento sem efeito, sendo que a partir desta molaridade percebeu-se diminuição, com um leve aumento entre as molaridades de 1,71 e 2,0 de AS. Ao avaliarem o efeito do ácido salicílico



como atenuante da salinidade em manjericão, Mohammadzadeh et al. (2013) destacam que a salinidade afetou a massa seca dos órgãos dessa planta, porém, diferentemente dos resultados encontrados neste trabalho, esses autores encontraram diferenças significativas para a aplicação do ácido salicílico nestas variáveis.

**Tabela 5.** Massa seca de plantas de manjericão em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e da aplicação de ácido salicílico

Ácido salicílico	Média
	Massa seca
0,00	43,39
0,29	47,87
1,00	49,54
1,71	46,18
2,00	46,90

O estresse salino pode diminuir da produção de biomassa, geralmente, por duas fases. A fase osmótica, onde a principal causa de perda de biomassa é a redução da expansão foliar; e a fase iônica, quando os íons tóxicos se acumulam nas folhas mais velhas, causando a senescência e abscisão precoce (MANCARELLA *et al.*, 2016).

## 4 CONCLUSÕES

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afeta negativamente a condutância estomática, transpiração, concentração de carbono interno e fitomassa de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon), enquanto que afeta positivamente a fluorescência e os teores de clorofila (até 5,2 dS m<sup>-1</sup>). A aplicação de ácido salicílico não possui efeito atenuante da salinidade nessa cultura.

## CAPÍTULO II

# ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE *Ocimum basilicum* SOB ESTRESSE SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO

## 1 INTRODUÇÃO

Manjerição (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta aromática e medicinal cultivada comercialmente ao redor do mundo (JAKOVLJEVIĆ *et al.*, 2017). O óleo essencial, extraído principalmente de suas folhas, é rico em linalol, substância amplamente utilizada nas indústrias farmacêutica, química, de cosméticos e flavorizantes. Esta espécie é cultivada em várias regiões onde o estresse salino é comum (TARCHOUNE *et al.*, 2012).

A salinidade está entre os fatores ambientais que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas, e se estimam que mais de 900 milhões de hectares de áreas agricultáveis no mundo são afetadas pela salinidade (MANCARELLA *et al.*, 2016). A causa da salinidade pode ser oriunda, principalmente, dos processos de intemperização das rochas, como da irrigação com água com altos teores de sais solúveis e pela aplicação de fertilizantes, sendo esses dois últimos os que estão causando maiores preocupações na agricultura moderna.

A salinidade pode afetar muitas culturas, principalmente em regiões onde os recursos hídricos são escassos, dentre essas, pode-se citar a região nordeste do Brasil. O estresse salino afeta as plantas de diversas maneiras, podendo limitar o seu crescimento e rendimento, além de acarretar danos nos processos fotossintéticos, na composição mineral e na absorção de nutrientes essenciais, como causar desequilíbrio ou toxicidade iônica (BEKHRADI *et al.*, 2015).

Tendo em vista as implicações deletérias causadas pela salinidade às plantas, aumentou-se nos últimos anos a busca por alternativas que

minimizem tais efeitos. Dentre as várias formas utilizadas, destaca-se o uso de ácidos, dentre estes o salicílico. Este ácido tem um papel crucial no desenvolvimento de resistência a doenças em plantas, produtividade dos frutos, tolerância aos estresses, além de influenciar nas trocas gasosas, composição hídrica, aumentar a tolerância ao estresse oxidativo e minimizar o estresse osmótico. No entanto, os efeitos desse ácido estão atrelados aos fatores genéticos e ambientais, além da forma e dose como o mesmo é aplicado (EL-ESAWI *et al.*, 2017).

Vários trabalhos foram desenvolvidos no tocante ao efeito do ácido salicílico como mitigador dos efeitos do estresse salino no cultivo do manjericão (PARIZI *et al.*, 2011; SHEKOOFEH *et al.*, 2012; MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013; ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015). Contudo, há escassas informações utilizando bandas de confiança. Com vista nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito atenuante do ácido salicílico na fisiologia do manjericão (*Ocimum basilicum* L. cv. Cinnamon) submetido ao estresse salino em dois períodos de avaliação, utilizando bandas de confiança.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba localizado no município de Areia, Paraíba, Brasil (6° 51' 47" S; 35° 34' 13" O; 575 m). O solo utilizado foi classificado como Planossolo (Embrapa, 2014), textura franco-arenosa, com as seguintes características físicas: Areia (g kg<sup>-1</sup>): 756,9; silte (g kg<sup>-1</sup>): 59,1; argila (g kg<sup>-1</sup>): 184,0; densidade aparente (kg dm<sup>-3</sup>): 1,38; densidade de partícula (kg dm<sup>-3</sup>): 2,67; porosidade total (%): 48; capacidade de campo (g kg<sup>-1</sup>): 78; ponto de murcha permanente (g kg<sup>-1</sup>): 43.

As sementes de manjericão cv. Cinnamon foram cedidas pelo professor Arie Fitzgerald Blank da Universidade Federal de Sergipe. As mudas de manjericão foram produzidas em bandejas de polietileno de 162 células, utilizando composto orgânico comercial como substrato

(1:1 v/v). Vinte e cinco dias após plantio (DAP), as mesmas foram transplantadas para os vasos com solo previamente umedecido até a sua capacidade de campo. As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 5 dm<sup>3</sup> preenchidos por solo e 100 g de esterco de aves/vaso. Foi coletada uma amostra da mistura do solo e do esterco para a análise de fertilidade.

A análise apresentou as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O): 6,9; P (mg dm<sup>-3</sup>): 11,71; K<sup>+</sup> (mg dm<sup>-3</sup>): 873,43; Na<sup>+</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,24; H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 1,6; Al<sup>+3</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,00; Ca<sup>+2</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 4,65; Mg<sup>+2</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,39; soma de bases (cmol dm<sup>-3</sup>): 7,52; capacidade de troca de cátions (cmol dm<sup>-3</sup>): 9,12; saturação por bases (%): 82,45; matéria orgânica (g dm<sup>-3</sup>): 22,73.

A irrigação foi realizada por lisimetria de drenagem à medida que se foi necessário. A água com as condutividades elétricas (ECw) desejadas foram preparadas semanalmente adicionando-se uma mistura de sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (7:2:1, respectivamente) em água (0,5 dS m<sup>-1</sup>) proveniente de local do experimento e armazenadas em baldes com capacidade de 60 dm<sup>-3</sup> (MEDEIROS, 1992). Para a preparação das doses de ácido salicílico (SA) utilizou-se água destilada e adicionado Tween 80 a 0,05% como tensioativo, para melhorar a absorção pelas plantas. O tratamento controle para esse fator foi preparado com água destilada e Tween 80. As plantas foram borrifadas até serem molhadas completamente, com as soluções acima descritas, semanalmente, por um período de vinte e um dias. A análise de salinidade da água é mostrada a seguir (Tabela 1).

As avaliações foram realizadas aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com águas salinas (DAI). Para as determinações das trocas gasosas foi utilizado analisador de gás no infravermelho - IRGA (modelo LI-6400xt, LI-COR®, Nebraska, USA), sendo as medições aferidas entre as 9 e 10h00. Mediu-se as variáveis: taxa de fotossíntese líquida (A - μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (gs - mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração de carbono interno (Ci - μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (E - mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), déficit de pressão de vapor (VPD - DPV<sub>folha-ar</sub>), eficiência do uso

da água (WUE – A/E), eficiência instantânea do uso da água (iWUE = A/gS) eficiência intrínseca de carboxilação (EiC = A/Ci).

Para as avaliações das variáveis de fluorescência de clorofila foi utilizado fluorômetro modulado (Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA). Foram colocadas pinças foliares por 30 minutos antes das leituras para adaptação das folhas ao escuro. Foram mensuradas a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v = F_m - F_0$ ) e rendimento quântico do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). As determinações do índice de clorofila a, b e total foram realizados pelo método não destrutivo, utilizando-se clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS), tendo o s valores dimensionados em índice de clorofila Falker (FCI).

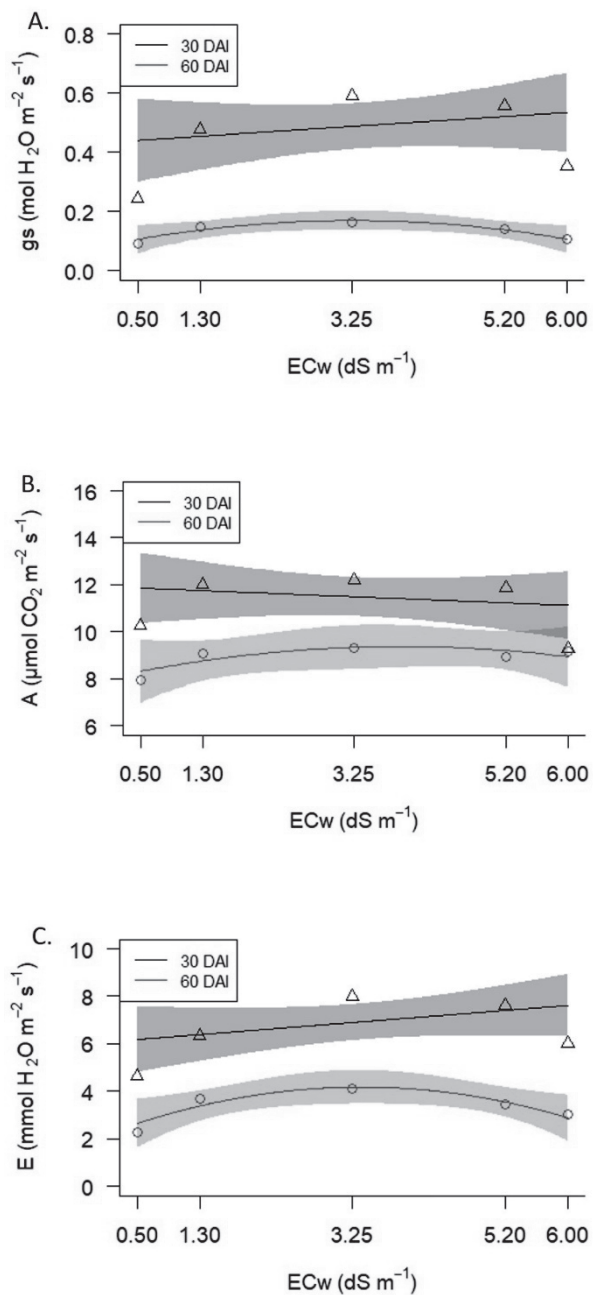
O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco condutividades elétricas da água de irrigação (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de ácido salicílico (0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e 2,0 mM), com cinco repetições. Foi utilizado o esquema fatorial incompleto através da matriz composto central de Box, que gerou nove combinações (tratamentos). Para o manejo da irrigação foi utilizado quatro plantas sob aplicação de 0,5 dS m<sup>-1</sup> e 0,0 mM de SA. Foram realizadas análises de regressão polinomial com seu intervalo de confiança para comparar as duas datas e análise de correlação entre as variáveis analisadas utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2017).

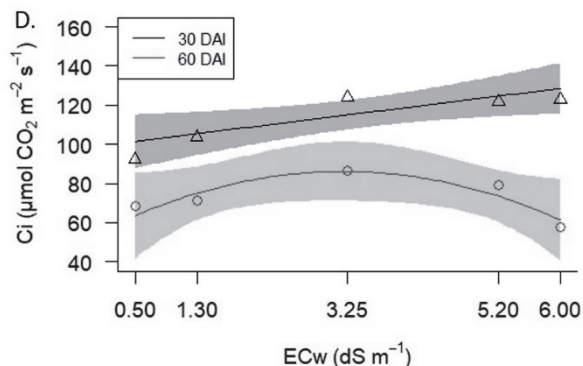
**Tabela 1.** Análise de química das águas salinas utilizadas para irrigação

	Condutividades				
	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
pH	7,70	7,60	7,90	6,30	7,80
CEa	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3,13	3,66	4,22	4,26	4,60
K <sup>+</sup>	0,26	0,19	0,22	0,20	0,20
Na <sup>+</sup>	2,28	9,37	25,44	40,62	49,56
Ca <sup>+2</sup>	2,01	1,83	1,93	1,99	0,90
Mg <sup>+2</sup>	1,08	0,98	0,86	0,84	0,90
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,93	0,85	1,07	1,15	1,10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,67	2,50	2,50	2,83	2,67
Cl <sup>-</sup>	4,17	12,50	32,83	54,00	63,83
RAS	2,27	9,79	25,90	40,72	49,56
PST	2,05	11,65	26,98	37,03	41,81

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade elétrica da água de irrigação (ECw) afetou a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração de carbono interno (Ci) e transpiração (E) de plantas de manjerição aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI) (Figura 1).





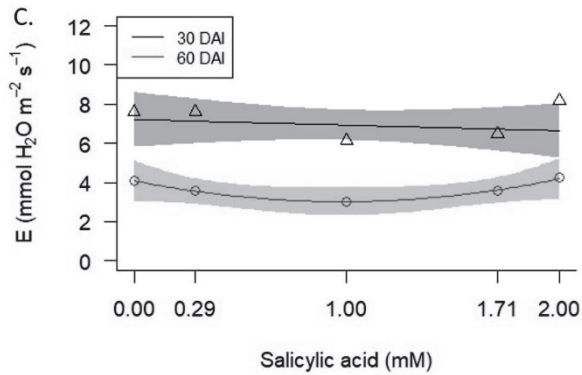
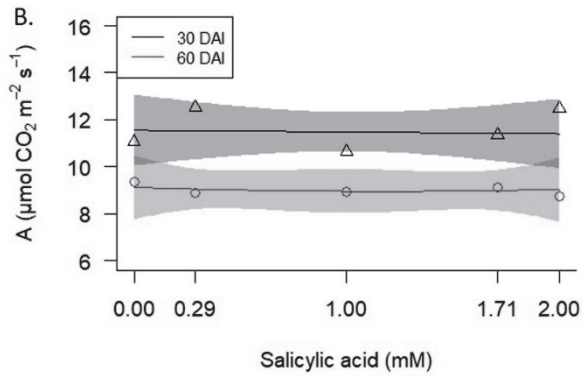
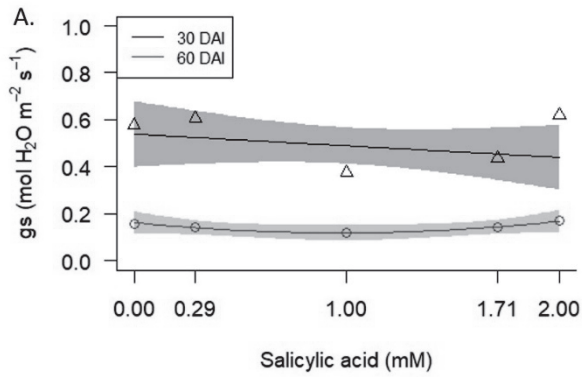
**Figura 1.** Condutância estomática (gs - A), fotossíntese líquida (A - B), transpiração (E - C) e concentração de carbono interno (Ci - D) de plantas de manjerição submetidas ao estresse salino (ECw) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

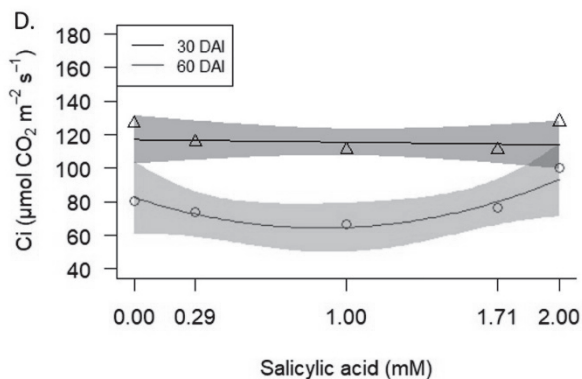
Para a A, notou-se que houve diferença até a ECw de 5,2 dS m<sup>-1</sup>, sendo que a partir dessa os intervalos de confiança se sobrepõem o que indica que não houve diferença. Isso pode estar atrelado ao fato de que em ECw superiores à supracitada, mesmo aos 30 DAI, já apresentaram valores médios próximos aos de 60 DAI, podendo ser uma resposta da maior concentração de sais na zona radicular das plantas.

Para a gs, Ci e E, houveram diferenças em todas as ECws nos dois períodos avaliados. Em termos de valores médios, observou-se que até a ECw de 3,25 dS m<sup>-1</sup>, houveram aumento para essas variáveis, ocorrendo decréscimo nas ECw posteriores, aos 30 e 60 DAI. O aumento da salinidade diminui a condutância estomática e a pressão intercelular de CO<sub>2</sub>, interferindo negativamente na assimilação desse gás. As plantas nesses meios fecham os seus estômatos como mecanismo de aclimação ao estresse, acarretando na redução da transpiração foliar, o que lhe confere atenuação nos efeitos tóxicos dos sais (BOSCO *et al.*, 2009).

Quando se trata do efeito do ácido salicílico, também se notou diferenças, como é mostrado na Figura 2.



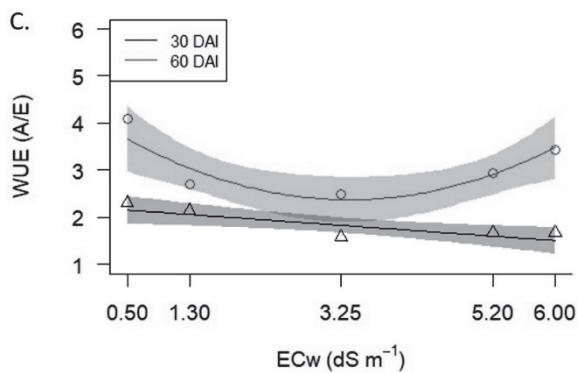
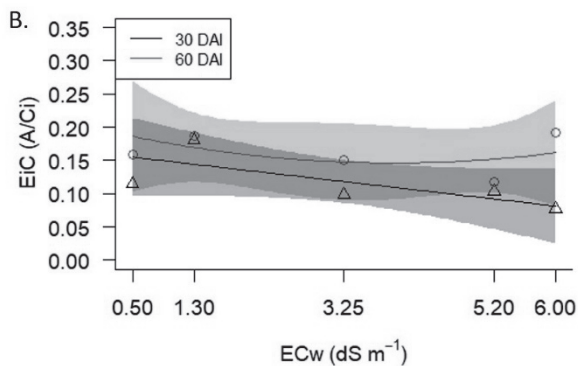
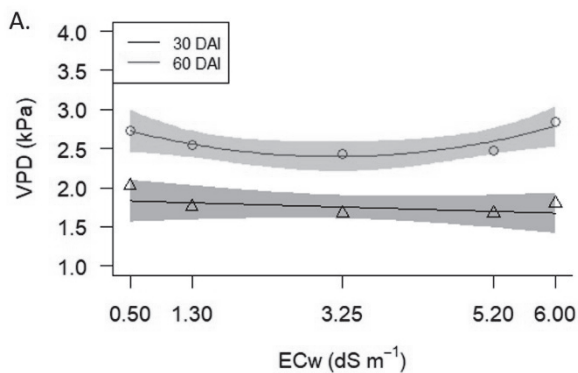


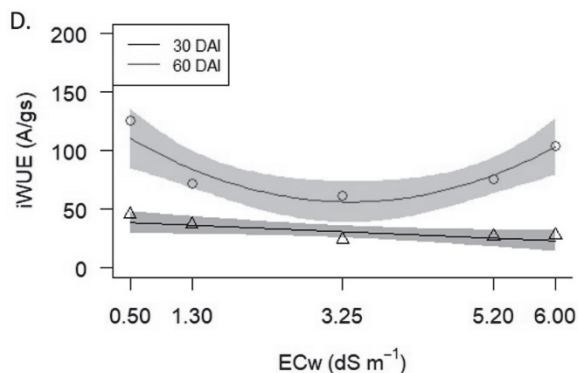


**Figura 2.** Condutância estomática (gs - A), fotossíntese líquida (A - B), transpiração (E - C) e concentração de carbono interno (Ci - D) de plantas de manjeriço submetidas ao ácido salicílico (salicylic acid) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

Para a fotossíntese líquida, observou-se que na aplicação de 0,0 e 2,0 mM de SA não houveram diferenças entre as duas datas de avaliação, no entanto, nas molaridades intermediárias (0,29; 1,0 e 1,71 mM), houveram diferenças nos períodos avaliados (Figura 2). O mesmo comportamento foi observado para a Ci. Quanto à gs notou-se que houve diferença em todas as molaridades testadas. Já para a E, houve diferença para todas as molaridades em ambos os períodos de avaliação.

O déficit de pressão de vapor (VPD), eficiência do uso da água (WUE) e eficiência instantânea do uso da água (iWUE) apresentaram diferenças em ambos os períodos de avaliação. Já a eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) não apresentou diferenças, como pode ser observado na Figura 3.





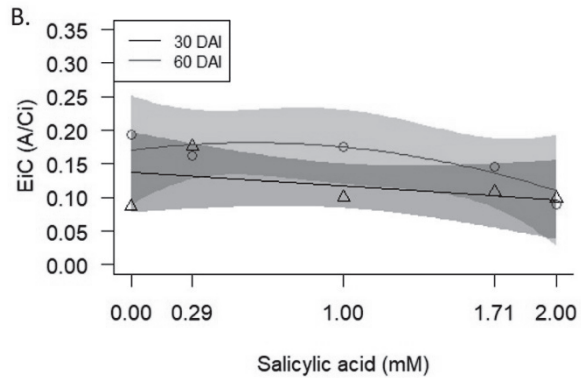
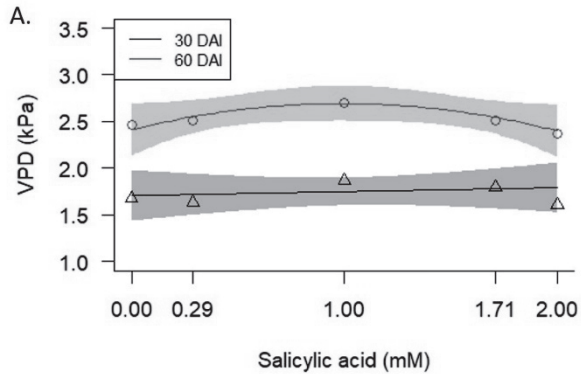
**Figura 3.** Déficit de pressão de vapor (VPD - A), eficiência intrínseca de carboxilação (EiC - B), eficiência do uso da água (WUE - C) eficiência instantânea do uso da água (iWUE - D) de plantas de manjericão submetidas ao estresse salino (ECw) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

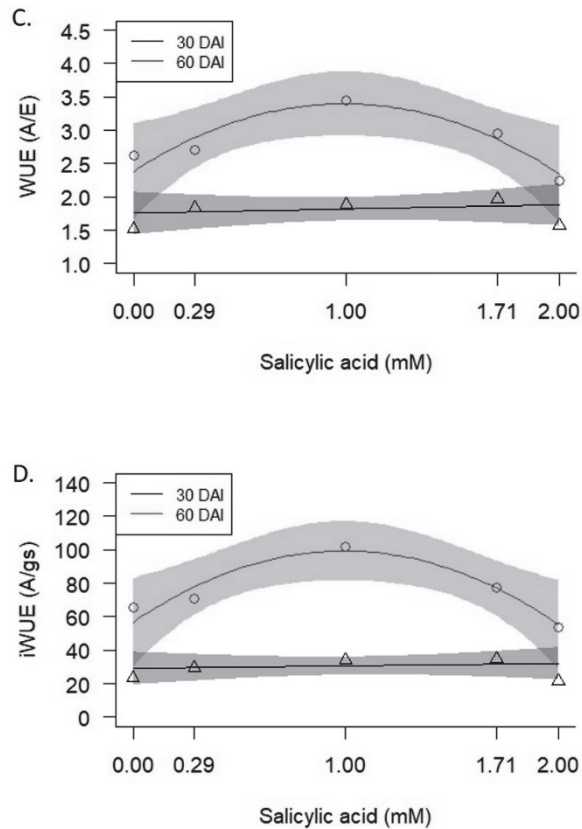
A salinidade afeta imediatamente a condutância estomática, e conseqüentemente causa distúrbios nas relações hídricas e diminuição na síntese de ácido abscísico (ABA), além de diminuir a taxa fotossintética (Munns e Tester, 2008).

O VPD e a iWUE apresentaram diferenças em todas as ECw, já a WUE não apresentou, apenas, na ECw de 3,25 dS m<sup>-1</sup> nos dois períodos de avaliação. Observou-se que a maior variação ocorreu aos 60 DAI, sendo que os valores médios aos 30 DAI permaneceram sem grandes oscilações. Quanto à aplicação de SA, o comportamento foi semelhante, em termos de diferenças nas variáveis, ao ocorrido para a ECw (Figura 4).

Para o WUE e iWUE, notou-se que não houveram diferenças nas de 0,0 e 2,0 mM, no entanto, nas molaridades intermediárias observou-se diferenças. Quanto à EiC, não se observou diferença em nenhuma molaridade, resultado contrário ao do VPD que apresentou para todas. Aos 60 DAI, notou-se para o VPD, WUE e iWUE que até 1 mM de AS houve aumento nessas variáveis, ao aumentar a molaridade observou-se diminuição nos valores médios das mesmas. Isso pode estar relacionado ao fato de que acima de 1,0 mM de SA, o efeito desse ácido pode ser tóxico

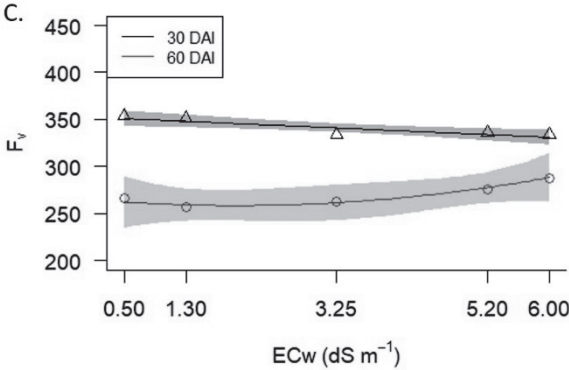
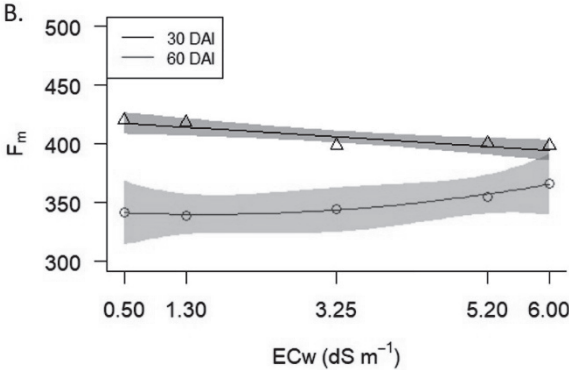
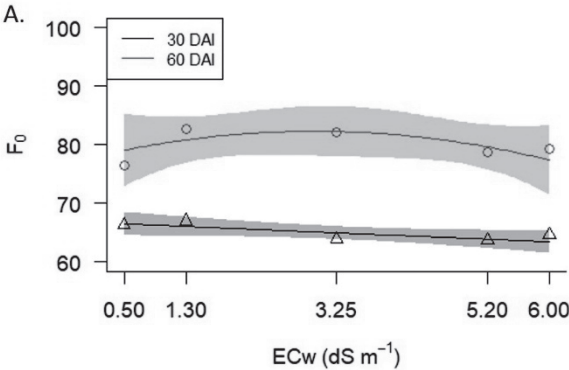
às plantas de manjericão. A aplicação exógena de SA pode aumentar a A, Ci, WUE, gs e E em algumas espécies como *Brassica juncea*, *Zea mays* e *Glycine max* (HAYAT *et al.*, 2010).

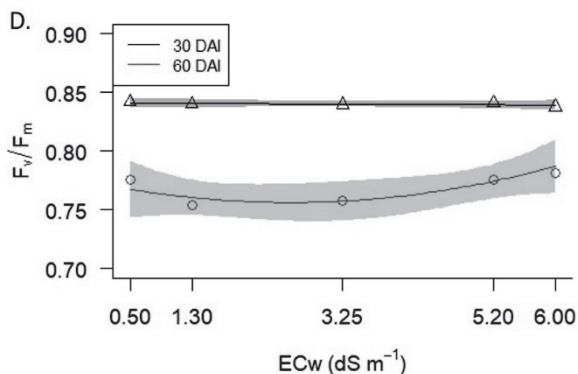




**Figura 4.** Déficit de pressão de vapor (VPD) (A), eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) (B), eficiência do uso da água (WUE) (C) eficiência instantânea do uso da água (iWUE) de plantas de manjeriço submetidas ao ácido salicílico (salicylic acid) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

Plantas de manjeriço submetidas a diferentes  $EC_w$  sofreram influências na fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) aos 30 e 60 DAI (Figura 5).





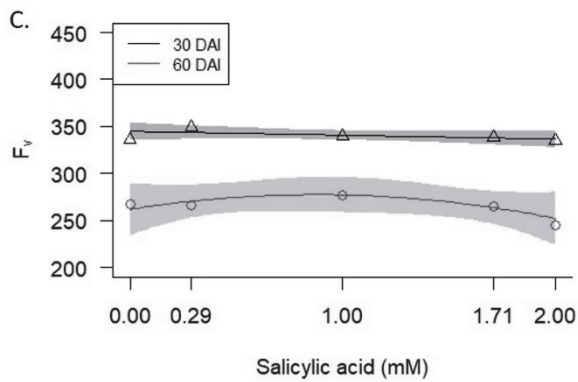
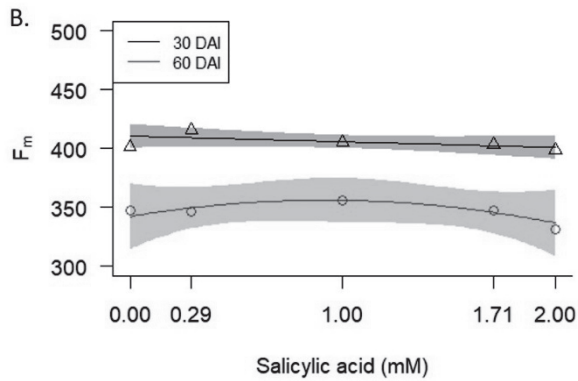
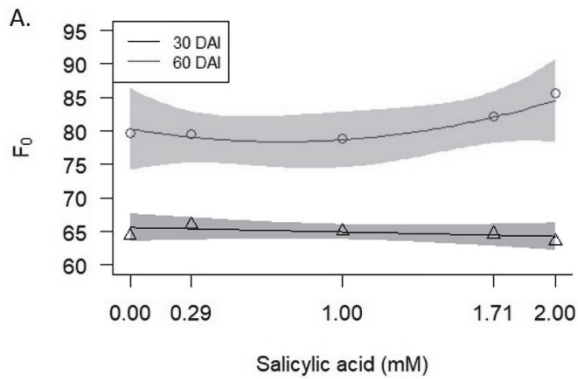
**Figura 5.** Fluorescência inicial ( $F_0$  - A), fluorescência máxima ( $F_m$  - B), fluorescência variável ( $F_v$  - C) e rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$  - D) de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino (ECw) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

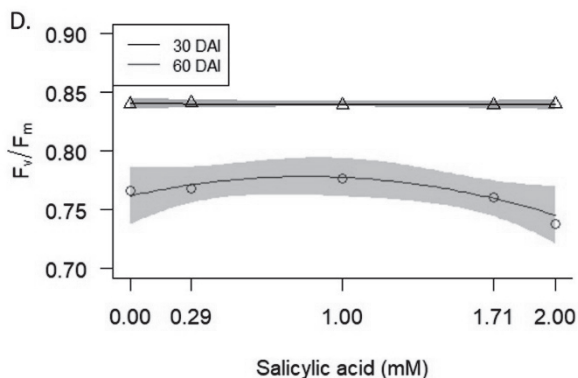
A  $F_0$ ,  $F_v$  e a  $F_v/F_m$  apresentaram diferenças em todas as ECws nos dois períodos avaliados, quando a  $F_m$  não apresentou na ECw de 6,0 dS m<sup>-1</sup>. Notou-se que houve acréscimo nas variáveis  $F_m$ ,  $F_v$  e  $F_m/F_v$  à medida que se aumentou a ECw aos 60 DAI. Aos 30 DAI, não foi verificado grandes variações médias à medida que aumentou-se a ECw em todas as variáveis supracitadas.

O fotossistema II (PSII) é um componente relativamente sensível ao estresse salino. Vários fatores estão associados à redução das taxas fotossintéticas em condições de estresse salino, como: desidratação da membrana celular, toxicidade aos sais, aumento da senescência, aumento na atividade enzimática pela alteração na estrutura citoplasmática, dentre outros (PARIHAR *et al.*, 2014).

A aplicação de SA influenciou a  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  e  $F_v/F_m$  de plantas de manjeriço aos 30 e 60 DAI (Figura 6). Aos 30 DAI não foram observadas grandes oscilações à medida que foi incrementada a concentração de SA. Aos 60 DAI, notou-se que acima de 1,0 mM de SA houve decréscimo para a  $F_m$ ,  $F_v$  e  $F_v/F_m$ , já para a  $F_0$  houve acréscimo.



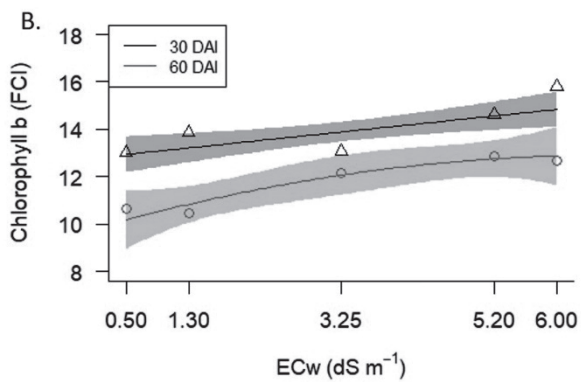
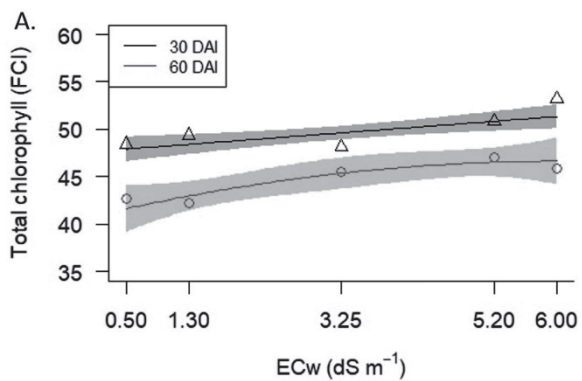


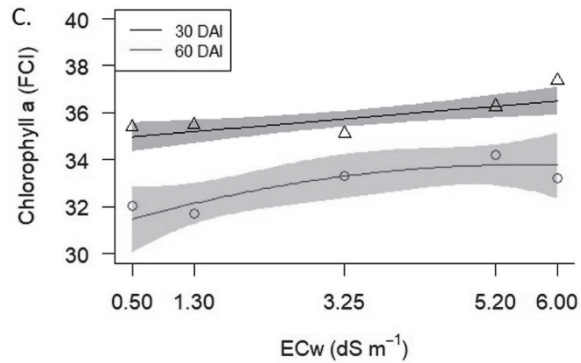


**Figura 6.** Fluorescência inicial ( $F_0$  - A), fluorescência máxima ( $F_m$  - B), fluorescência variável ( $F_v$  - C) e rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$  - D) de plantas de manjericão submetidas ao ácido salicílico (salicylic acid) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

A clorofila a, b e total apresentaram diferenças, aos 30 e 60 DAI, à medida que foi incrementada a  $EC_w$ , como pode ser observado na Figura 7. A redução no teor de clorofila de plantas submetidas ao estresse salino pode ser atribuída à degradação dos pigmentos fotossintéticos e a instabilidade do complexo de proteínas, além de interferência na síntese proteica e na estrutura dos componentes da clorofila (HUSSEIN *et al.*, 2012).

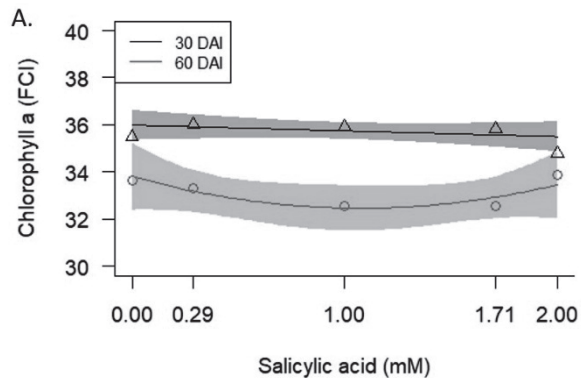
Aos 30 DAI observou-se que se aumentou a  $EC_w$  houve um acréscimo para as clorofilas a, b e total. No entanto, aos 60 DAI, houve acréscimo nessas variáveis até a  $EC_w$  de  $5,2 \text{ dS m}^{-1}$ , acima disso há decréscimo. Tal fato pode estar atrelado ao maior acúmulo de íons tóxicos (principalmente  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) na zona radicular, que pode ter danificado o aparelho fotossintético. Bagherifard *et al.* (2015) que plantas de *Cynara scolymus* L. submetidas ao tratamento com SA e estresse salino reduziram os teores de clorofilas.

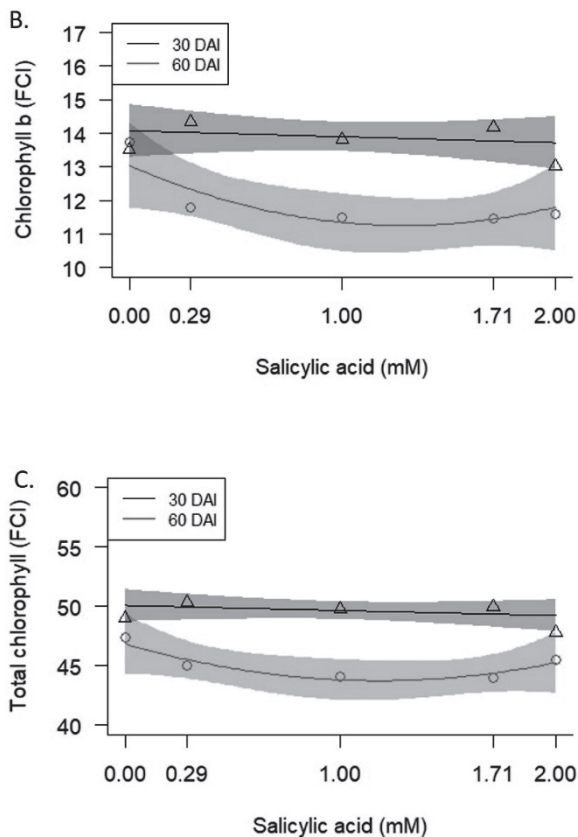




**Figura 7.** Clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) de plantas de manjeriço submetidas ao estresse salino (ECw) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

Quanto à aplicação de SA, houve diferenças para as clorofilas a, b e total em ambos os períodos avaliados, como observado na Figura 8. El-Esawi *et al.* (2017) ressaltam que plantas de *Rosmarinus officinallis* L. submetidas ao estresse salino, sofreram efeitos mitigadores no conteúdo de clorofila quando aplicado o SA.

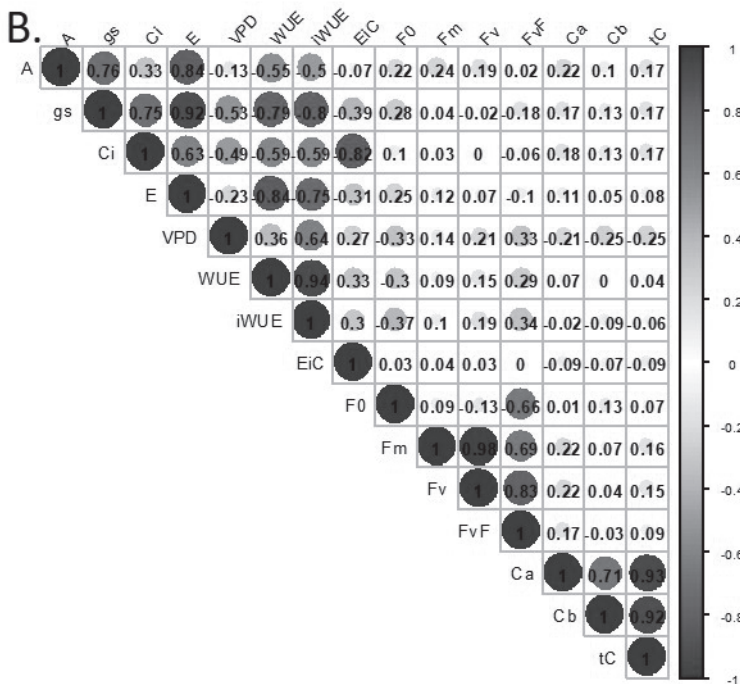




**Figura 8.** Clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) de plantas de manjericão submetidas ao ácido salicílico (salicylic acid) aos 30 e 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI).

Aos 30 DAI, as clorofilas b e total apresentaram aumento médio até 1,71 mM de SA, havendo decréscimo na molaridade de 2,0 mM. Quanto aos 60 DAI, houve acréscimo para a clorofila a até 1,71 mM. Para as clorofilas b e total não houve diferença em 0,0 e 2,0 mM de SA, quanto a clorofila a houve diferença em todas as molaridades estudadas. Ao avaliarem o efeito mitigador do SA em *Fragaria chiloensis* submetida ao estresse salino, Karlidag *et al.* (2009), ressaltam que a salinidade





**Figura 9.** Correlação entre as variáveis de trocas gasosas (A, gs, Ci, E, VPD, EiC, WUE e iWUE) (A), fluorescência e índices de clorofila (F0, Fm, Fv e FvF, Ca, Cb e tC) aos 30 (A) e 60 (B) dias após a irrigação com água salina (DAI)

Houve correlação positiva entre a A e gs (0,68) e E (0,72); entre gs e E (0,76) e Ci (0,70); entre iWUE e WUE (0,73), EiC (0,69) e VPD (0,68). A maior correlação negativa ocorreu entre iWUE e Ci (0,98). Houve correlação positiva entre as clorofilas a, b e total (sendo a maior entre essas duas últimas (0,96) e entre as F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub> e F<sub>v</sub> (sendo a maior entre F<sub>v</sub> e F<sub>m</sub> (0,99). Melo *et al.* (2017), ao estudarem *Atriplex numularia* sob estresse hídrico e salino, destacam que, geralmente, a diminuição na produção quântica do PSII pode ser associada à degradação da clorofila, principalmente a clorofila a.

Ao serem submetidas ao estresse salino, as plantas podem diminuir significativamente o seu processo fotossintético. Isso pode estar

relacionado com a desorganização na atividade das enzimas responsáveis por esse processo, além de ter como causa secundária a redução na pressão parcial de CO<sub>2</sub> nas folhas, como consequência do fechamento dos estômatos. Além de causar desordens nas atividades dos fotossistemas, causada pela desorganização do sistema laminar e a perda da integridade dos cloroplastos (BYBORDI, 2012).

Aos 60 DAI o VPD apresentou correlação positiva com a WUE (36%), EiC (0,27) e iWUE (0,64). A gs apresentou correlação positiva com A (0,76), Ci (0,75) e E (0,92), apresentando correlação negativa com o VPD (0,53), EiC (0,39), WUE (0,79) e iWUE (0,80). Quando se analisou a correlação entre as variáveis de clorofila, notou-se que a maior correlação positiva foi obtida entre F<sub>m</sub> e F<sub>v</sub> (0,98) e a negativa entre F<sub>0</sub> e F<sub>v</sub> (0,66). Ao mensurar a fluorescência da clorofila é possível diagnosticar o estado em que a planta se encontra, além de obter-se informações para um esclarecimento de uma relação de causa e efeito entre os mecanismos que controlam o equilíbrio hídrico e o crescimento de uma planta (MANCARELLA *et al.*, 2016).

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que: o maior efeito da condutividade elétrica da água de irrigação na fisiologia do manjeriço (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon), foi observada aos 60 dias após a irrigação com águas salinas (DAI). Aos 60 DAI o ácido salicílico possui efeito mitigador da salinidade, para a maioria das variáveis analisadas, até a dose de 1,0 mM, já aos 30 DAI foram obtidas baixa atividade deste ácido. As maiores correlações entre as variáveis são aos 30 DAI. O ácido salicílico possui efeito benéfico em plantas de manjeriço até a dose de 1,0 mM.





## CAPÍTULO III

# ÁCIDO SALICÍLICO NA ECOFISIOLOGIA E CRESCIMENTO DE MANJERICÃO (*Ocimum basilicum*) SUBMETIDO AO ESTRESSE SALINO

## 1 INTRODUÇÃO

A salinização do solo é um problema mundial que deprecia a produção agrícola (RIBEIRO *et al.*, 2017). No Brasil, a região mais afetada é o Nordeste, que em sua maior extensão caracteriza-se por apresentar clima semiárido, onde as taxas de evaporação superam as de precipitação, colaborando para a ocorrência de déficit hídrico e áreas com altos teores de sais, ambos fatores limitantes à produção agrícola (PEDROTTI *et al.*, 2015). Além disso, a introdução da agricultura irrigada, utilizando água de baixa qualidade, contribui para o processo de salinização do solo (HANNACHI; VAN LABEKE, 2018). Dentre as espécies de interesse econômico cultivadas nessa região e que são sensíveis ao estresse salino podemos citar o manjeriço.

O manjeriço *Ocimum basilicum* L., está incluso na família Lamiaceae, a qual inclui ervas e arbustos distribuídos em vegetação tropical e regiões subtropicais da Ásia, África e Américas. Essa espécie é considerada economicamente importante devido as suas características naturais básicas como o uso medicinal, aromático e condimentar, tanto *in natura* como processada, além do grande potencial para extração e produção de óleo essencial de suas folhas, o que tem atraído o interesse de empresas e pesquisadores (TARCHOUNE *et al.*, 2013; MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013).

Considerando apenas a salinidade como fator de estresse aos vegetais, a maioria das espécies apresentam como resposta, a curto prazo,

uma redução no potencial osmótico, seguido de redução no crescimento, e como resposta a longo prazo, estresse oxidativo e alterações fisiológicas e bioquímicas em suas células. Então, como efeito da salinização a planta sofre danos direto no seu crescimento e desenvolvimento normal (BOSCO *et al.*, 2009, WILLADINO; CAMARA, 2010; BEKHRADI *et al.*, 2015; LIANG *et al.*, 2018).

Quando em altas concentrações de sódio, danos na maquinaria fotossintética ocorrem a partir da restrição da abertura estomática, assimilação de CO<sub>2</sub> e excessiva produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), com concomitante reações de degradação da clorofila (MARCONDES; GARCIA, 2009; SILVEIRA *et al.*, 2010). Esse conjunto de reações gera uma homeostase iônica que contribui na perda de produtividade, gerando danos irreparáveis aos vegetais, principalmente pelo excesso de ROS. As ROS são subprodutos inevitáveis do metabolismo normal, com facilidade em reagir com outras substâncias podendo gerar uma cascata de reações, não desejadas pelos vegetais, como oxidação de membranas celulares, lipídeos e DNA (TARCHOUNE *et al.*, 2012; JAKOVLJEVIĆ *et al.*, 2017).

Para aliviar os efeitos danosos do estresse salino, tem-se estudado formas de atenuação de tais efeitos às plantas, como por exemplo, a aplicação exógena de ácido salicílico (AS). O AS também chamado de ácido 2-hidroxibenzóico é um fitohormônio sintetizado pela planta que pertence a um grupo de compostos fenólicos que executam papel importante na manutenção da resistência a estresses (SEYFFERTH; TSUDA, 2014, ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015).

Tendo em vista o uso de solos e águas com elevados teor de sais na região do Nordeste, assim como o grande interesse econômico pelo manjericão (*Ocimum basilicum* L.), buscou-se nessa pesquisa investigar o ácido salicílico como atenuante dos efeitos do estresse salino no crescimento e ecofisiologia desta espécie.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba localizado no município de Areia, PB (6° 51' 47" S; 35° 34' 13 O; 575 m). O solo utilizado foi classificado como Planossolo (EMBRAPA, 2014), textura franco-arenosa, com as seguintes características físicas: Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 756,9; silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 59,1; argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 184,0; densidade aparente ( $\text{kg dm}^{-3}$ ): 1,38; densidade de partícula ( $\text{kg dm}^{-3}$ ): 2,67; porosidade total (%): 48; capacidade de campo ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 78; ponto de murcha permanente ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 43.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0  $\text{dS m}^{-1}$ ) e cinco doses de ácido salicílico (AS) (0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e 2,0 mM), com cinco repetições e duas plantas por repetição. Totalizando em 9 combinações geradas através da matriz Composto Central de Box.

As sementes de manjeriço utilizadas foram da cv. Cinnamon. As mudas de manjeriço foram produzidas em bandejas de polietileno de 162 células. Como substrato para a produção das mesmas foram usados solo e composto orgânico comercial (1:1 v/v) 25 dias após plantio (DAP), as mesmas foram transplantadas para os vasos com solo previamente umedecido até a sua capacidade de campo. As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade volumétrica de  $5,0 \text{ dm}^{-3}$  preenchidos por solo e 100 g de esterco de aves por vaso. Foi coletada uma amostra da mistura do solo e do esterco para a análise de fertilidade. A análise apresentou as seguintes características: pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ): 6,9; P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): 11,71;  $\text{K}^+$  ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): 873,43;  $\text{Na}^+$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,24;  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 1,6;  $\text{Al}^{+3}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,00;  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 4,65;  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,39; SB ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 7,52; CTC ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 9,12; V (%): 82,45; MO ( $\text{g dm}^{-3}$ ): 22,73.

A irrigação foi realizada por lisimetria de drenagem à medida que foi necessário. Para isso foram utilizadas quatro plantas submetidas

a  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  e  $0,0 \text{ mM}$  de AS. A água com as condutividades elétricas (CEa) desejadas foram preparadas adicionando-se uma mistura de sais de NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (na proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente) em água ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) proveniente de local do experimento (MEDEIROS, 1992). Para a preparação das doses de ácido salicílico utilizou-se água destilada e adicionado Tween 80 a  $0,05\%$  como tensoativo, para melhorar a absorção pelas folhas. O tratamento controle para esse fator foi preparado com água destilada e Tween 80. As plantas foram borrifadas até serem molhadas completamente, com as soluções acima descritas, semanalmente, durante 21 dias. A análise de salinidade da água é mostrada a seguir (Tabela 1).

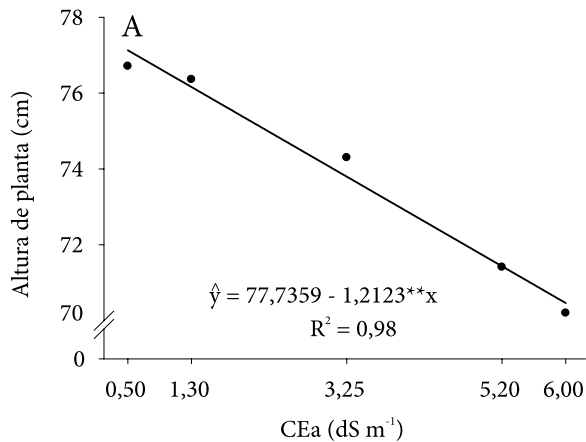
As avaliações de trocas gasosas foram realizadas 30 dias após o início da irrigação com água salina (DAI). As análises de crescimento, fluorescência e índice de clorofila foram realizadas aos 36 DAI. As determinações das trocas gasosas foram realizadas utilizando um analisador de gás infravermelho (LI-COR® - modelo LI-6400XT, Nebraska, USA), sendo as medições aferidas entre as 9 e 10h00. Mediu-se as variáveis: taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs) ( $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração de carbono interno (Ci) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor (DPV) ( $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ ), eficiência do uso da água ( $\text{EUA} = A/E$ ) e eficiência intrínseca de carboxilação ( $\text{EiC} = A/\text{Ci}$ ).

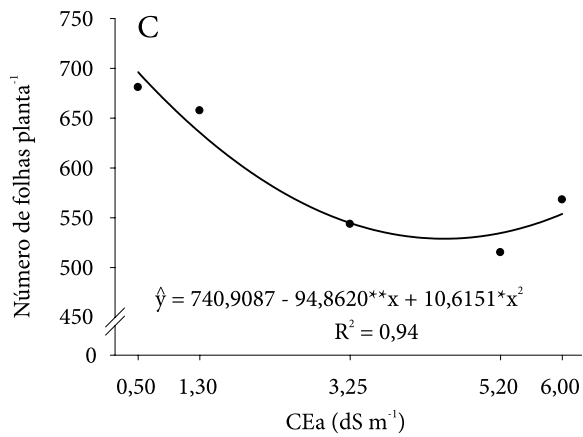
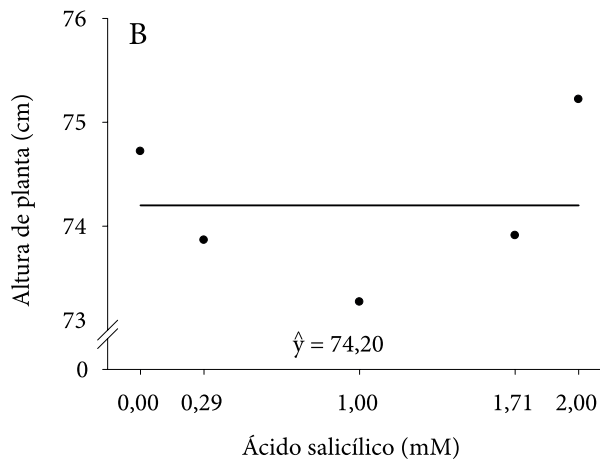
As determinações do índice de clorofila a, b e total foram realizados pelo método não destrutivo, utilizando-se um clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS), tendo os valores dimensionados em índice de clorofila Falker (ICF). Para a avaliação da fluorescência de clorofila foi utilizado fluorômetro modulado (Sciences Inc. - Model OS-30p, Hudson, USA). Foram colocadas pinças foliares por 30 minutos antes das leituras para adaptação das folhas ao escuro. Foram mensuradas a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v = F_m - F_0$ ) e rendimento quântico do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ).

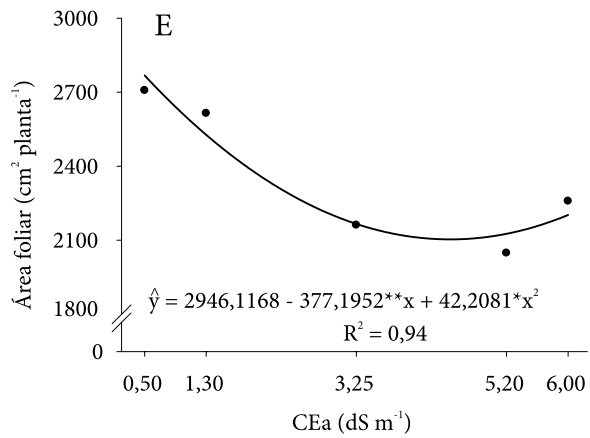
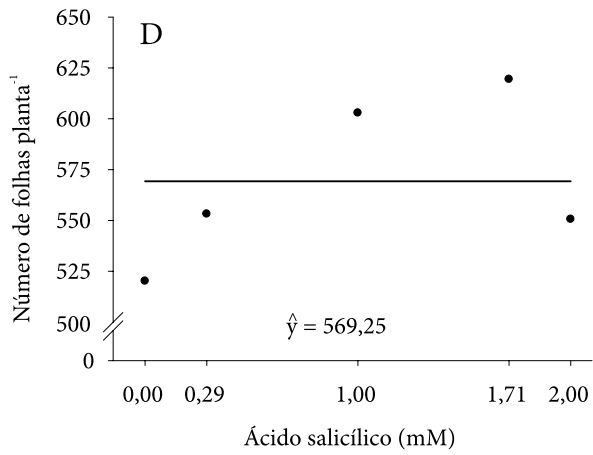
A área foliar foi obtida através da média do produto do comprimento e da largura de 20 e o fator de forma de área foliar (0,6775 adimensional). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e análise de regressão utilizando o programa estatístico SAS University (CODY, 2015).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

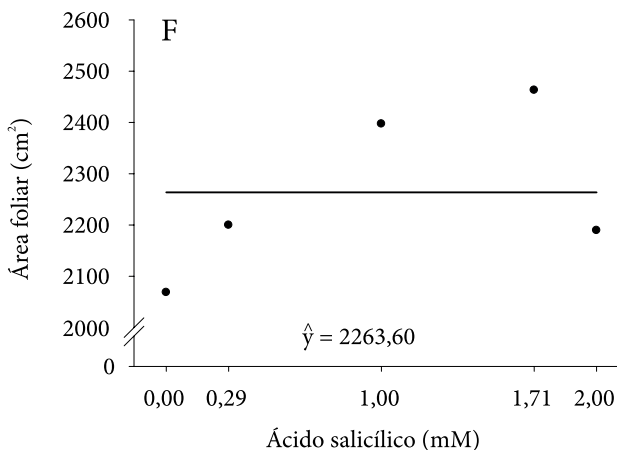
O crescimento do manjericão foi afetado negativamente pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) (Figura 1). O ácido salicílico (AS) não apresentou efeito significativo, no entanto, os dados médios são mostrados a seguir. Em condições adversas as plantas tendem a diminuir seu crescimento, o que lhes permitem a conservação de energia, auxiliando, assim, a mostrar uma resposta de defesa apropriada e a reduzir o risco de danos (ATTIA *et al.*, 2011).









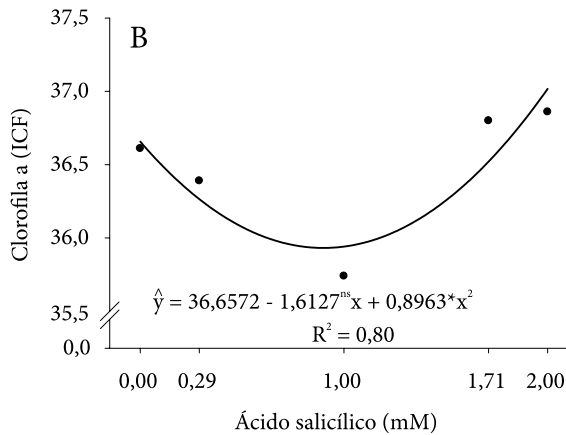
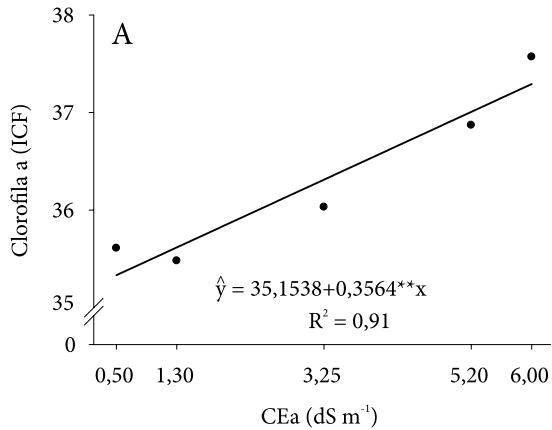


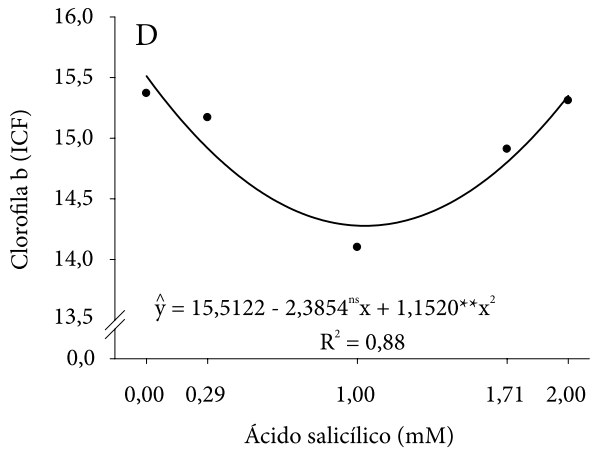
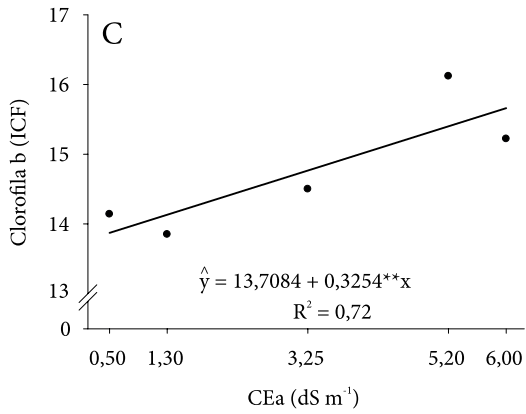
**Figura 1.** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e do ácido salicílico na altura de planta (A e B), número de folhas (C e D) e área foliar (E e F) de manjeriço (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) aos 36 dias após a irrigação com água salina. \*, \*\*, ns: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente.

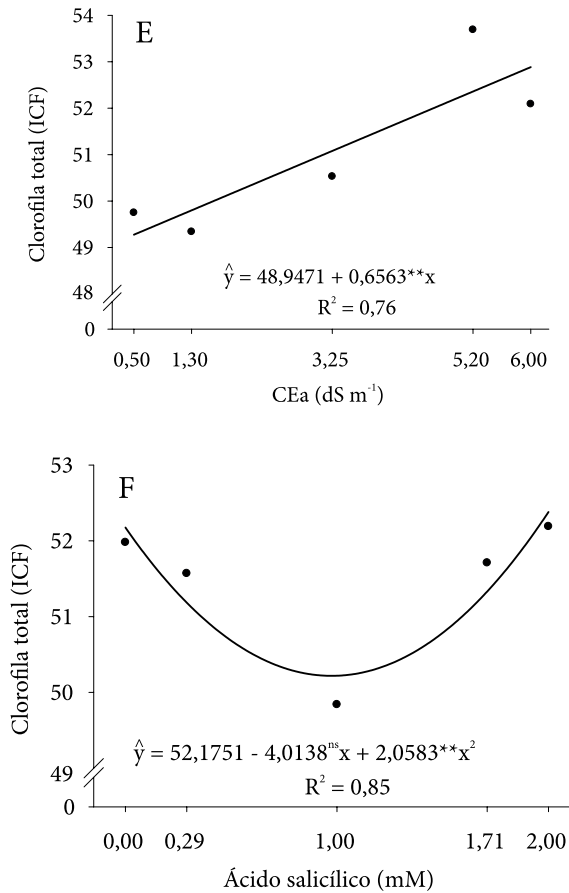
A altura de planta foi reduzida linearmente à medida que se elevou a CEa, apresentando decréscimo de 1,56% por acréscimo unitário da salinidade ( $\text{dS m}^{-1}$ ). Em relação ao número de folhas e área foliar, observou-se que houve decréscimo até a CEa de  $5,2 \text{ dS m}^{-1}$  com um leve aumento de 9,3% em relação a CEa de  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ . A aplicação de ácido salicílico afetou negativamente a altura de plantas até  $1,0 \text{ mM}$ , sendo que a partir dessa molaridade, houve aumento nessa variável. Quanto à aplicação desse ácido no número de folhas e área foliar, notou-se aumento até  $1,71 \text{ mM}$ , decrescendo na molaridade posterior ( $2 \text{ mM}$ ) de AS.

Um dos efeitos iniciais do estresse salino é a redução no crescimento. Os sais dissolvidos na água do solo inibem o crescimento das plantas por duas razões. Primeiramente, reduz a capacidade da planta de absorver água, o que leva a um crescimento mais lento. Este é o efeito osmótico ou de água da salinidade. Em segundo lugar, os sais tóxicos podem entrar no fluxo de transpiração e causar injúrias às células das folhas que realizam a transpiração, reduzindo ainda mais o crescimento (PARIHAR *et al.*, 2014).

Geralmente, o manjericão parece ser mais tolerante ao sal ao nível da atividade fotossintética e da produção de biomassa do que para o desenvolvimento foliar, que sofre de restrição de iniciação ou expansão foliar de acordo com a variedade (ATTIA *et al.*, 2011). Os índices de clorofilas a, b e total são demonstradas na Figura 2. Percebeu-se comportamento linear para todas essas variáveis em relação à CEa e quadrático em relação ao AS.







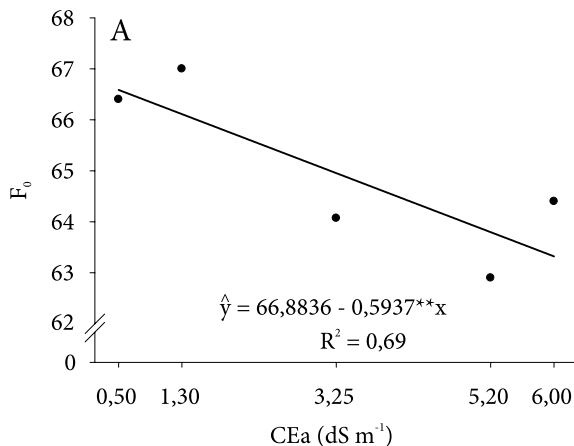
**Figura 2.** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e do ácido salicílico na clorofila a (A e B), clorofila b (C e D) e clorofila total (E e F) de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) aos 36 dias após a irrigação com água salina. \*, \*\*, ns: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente.

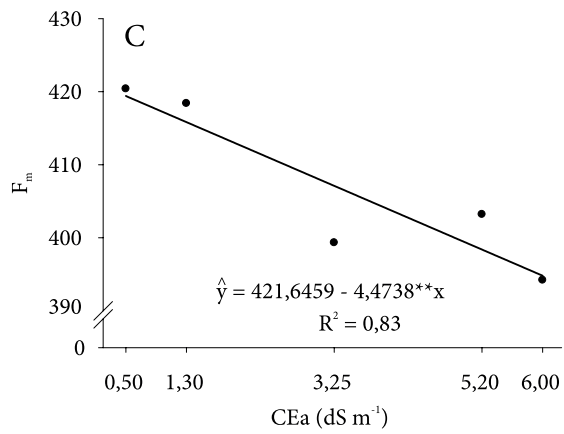
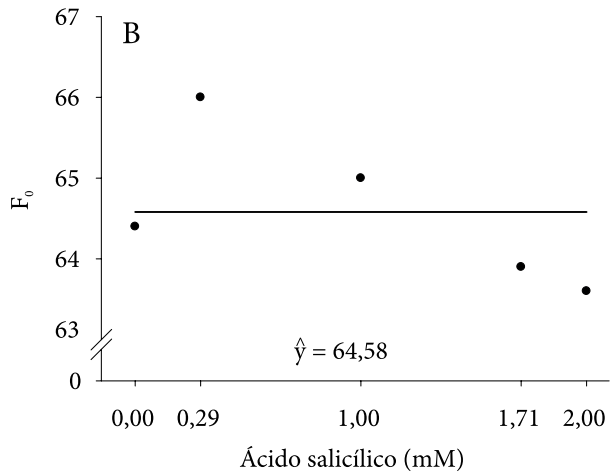
Para as clorofilas a, b e total foi observado aumento até a CEa de 5,2 dS m<sup>-1</sup>, declinando na condutividade subsequente (6,0 dS m<sup>-1</sup>). Notou-se incremento unitário de 1,09, 2,66 e 1,53% para cada acréscimo unitário da CEa, respectivamente. Attia et al. (2011), ao trabalharem com duas cultivares de manjericão, ressaltam que a Piccolo mostrou

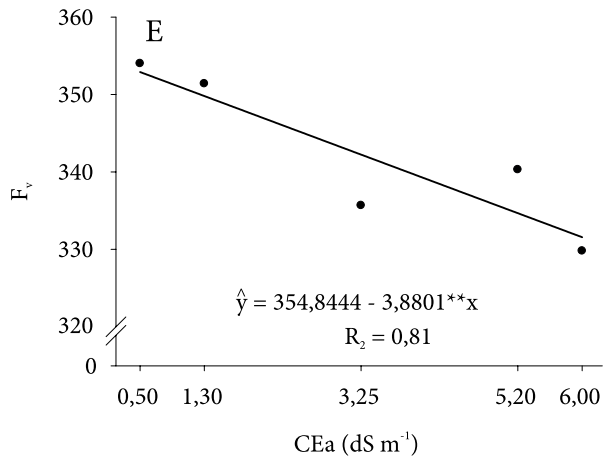
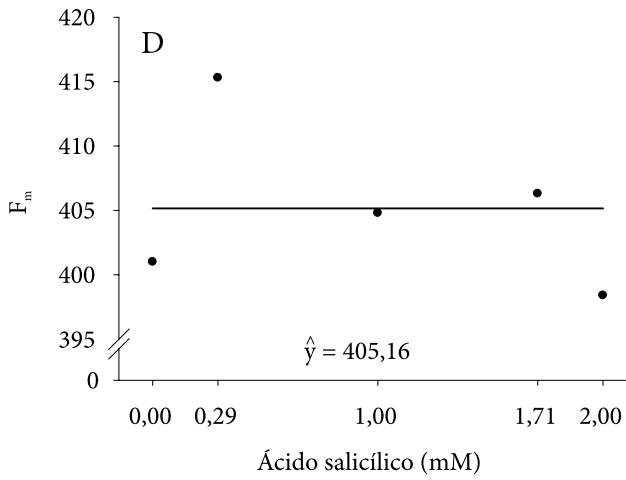
diferenças significativas para as clorofilas a e b sob estresse salino (50 mM), já a Genovese não apresentou. Isso sugere a maior adaptação da cultivar Genovese ao meio salino.

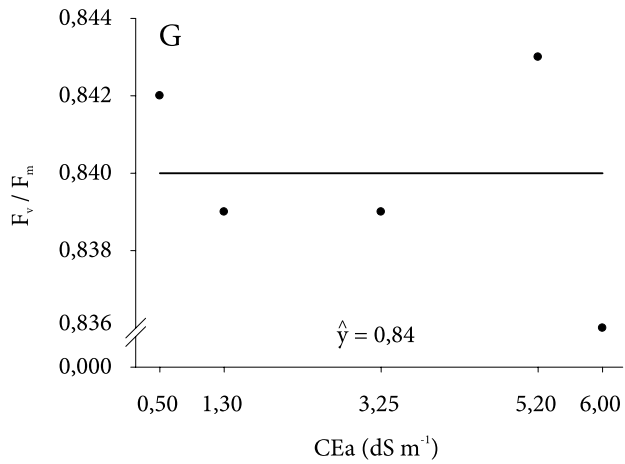
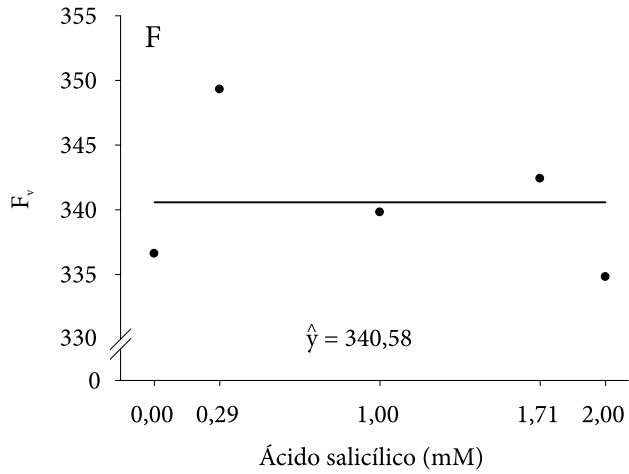
O mesmo resultado foi encontrado por Tarchoune *et al.* (2012) para essa última cultivar. Esses mesmos autores ressaltam que a diminuição na taxa fotossintética, em tratamento com NaCl, pode ser atribuída à diminuição da disponibilidade de CO<sub>2</sub> resultante da redução da condutância estomática, mas não devido a lesão no aparelho fotossintético. Quanto à aplicação de AS, notou-se que para todas as clorofilas houve decréscimo até 1,0 mM, tendo aumento nas molaridades subsequentes.

As fluorescências da clorofila foram influenciadas negativamente pelo aumento da CEa. O aumento da concentração de AS também mostrou decréscimo nas mesmas (Figura 3). A fluorescência da clorofila é um reflexo sutil das reações primárias da fotossíntese. As relações entre a cinética da fluorescência e a fotossíntese são as chaves para a compreensão dos processos biofísicos fotossintéticos (SHU *et al.*, 2013).

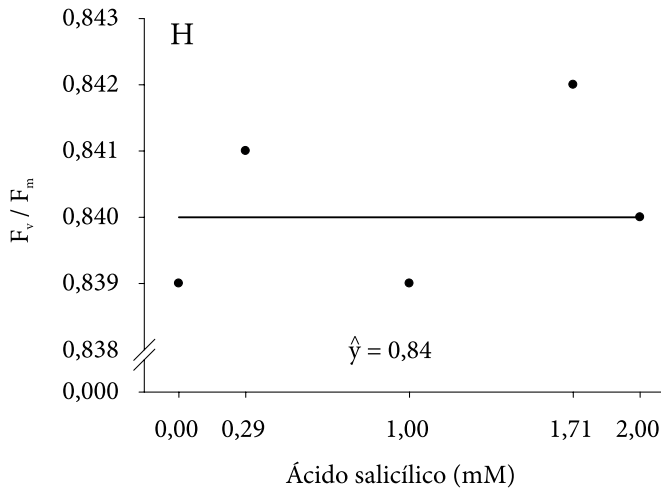












**Figura 3.** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e do ácido salicílico na fluorescência inicial ( $F_0$  - A e B), fluorescência média ( $F_m$  - C e D), fluorescência variável ( $F_v$  - E e F) e rendimento quântico do PSII ( $F_v/F_m$  - G e H) de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) aos 36 dias após a irrigação com água salina. \*, \*\*, ns: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente.

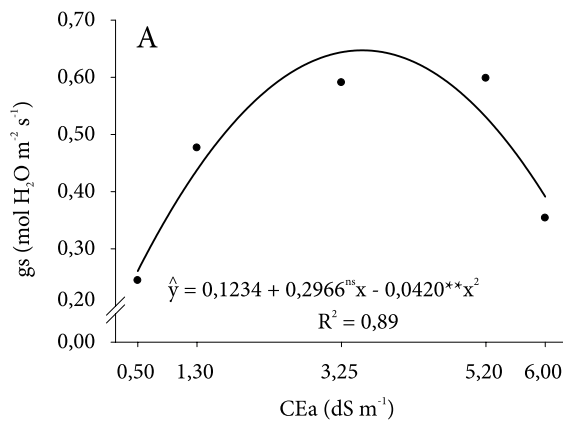
A  $F_0$ ,  $F_m$  e  $F_v$  apresentaram decréscimo linear à medida que se elevou a CEa apresentando decréscimos unitários de 0,89, 1,06 e 1,09%, respectivamente. Porém, na condutividade de  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$  houve aumento no valor de  $F_0$ . Os incrementos nos valores de  $F_0$  associados a reduções nos valores de  $F_m$  podem ser interpretados como uma indicação de dano no complexo de captação de luz do PSII (MELO *et al.*, 2017). Quanto ao  $F_v/F_m$ , observou-se grandes oscilações, visto que entre as CEa de 1,3 e  $5,2 \text{ dS m}^{-1}$  houve aumento nessa variável, decrescendo em seguida ( $6 \text{ dS m}^{-1}$ ). A diminuição da relação  $F_v/F_m$  pode ser indicativo de redução na eficiência fotoquímica do PSII e danos na maquinaria fotossintética, sendo esta variável utilizada para detectar distúrbios, oriundos do estresse salino, no sistema fotossintético (AZEVEDO NETO *et al.*, 2011).

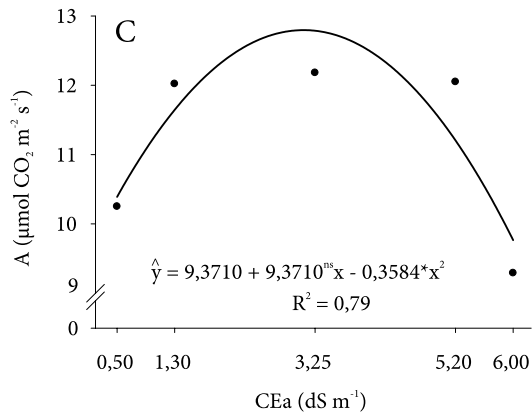
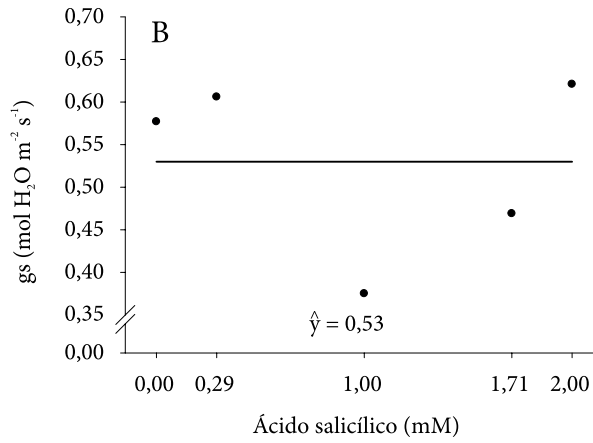
A aplicação de AS não apresentou efeito sobre esta variável. Na ausência da fotorrespiração, o rendimento quântico fotoquímico do PSII está diretamente relacionado ao rendimento quântico da assimilação de

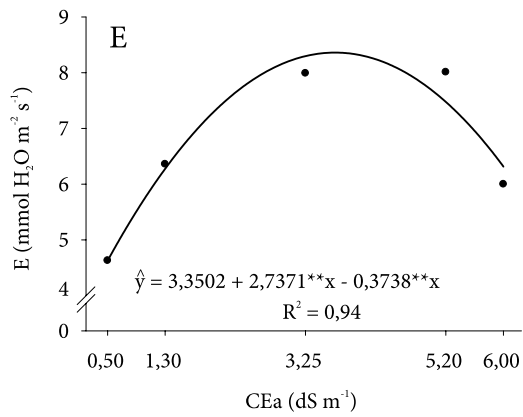
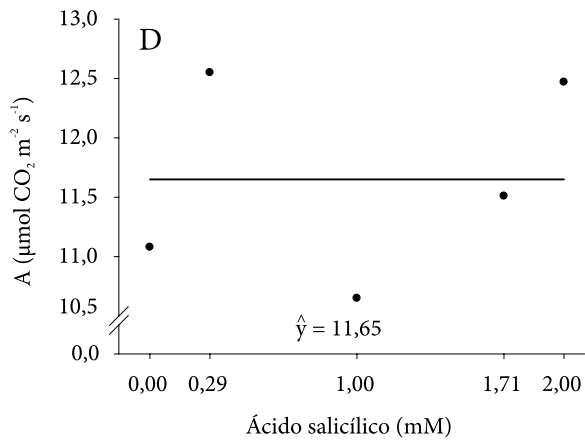
CO<sub>2</sub> pela folha, permitindo, sob certas condições, a aplicação de medidas de fluorescência para fornecer um cálculo rápido e não destrutivo da assimilação de CO<sub>2</sub> (BAKER, 2008).

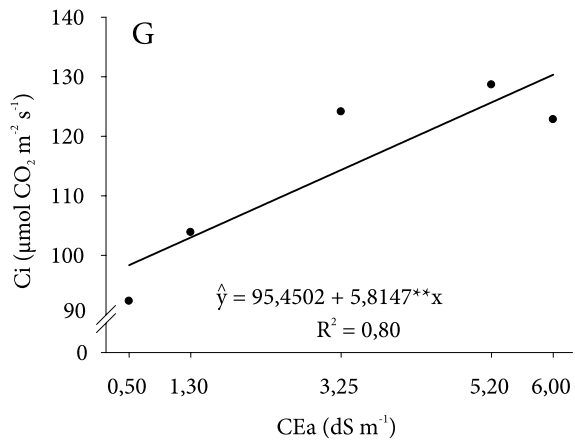
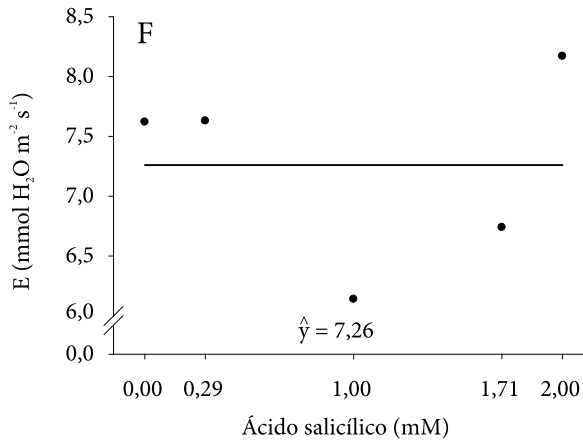
Entre os transtornos fisiológicos e bioquímicos em plantas que são causados pelo estresse salino, pode-se citar a inibição fotossintética (TAIZ *et al.*, 2017). Uma redução da taxa fotossintética pode significar declínio na produção e sob tais condições de cultivo alguns autores (BYBORDI, 2012; TARCHOUNE *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2017) encontraram resultados que corroboram com os do presente trabalho. Para os mesmos, esse tipo de resposta é resultado do fechamento estomático, assim como também da baixa assimilação de CO<sub>2</sub> e da degradação da clorofila, que são fatores determinantes para a realização da fotossíntese.

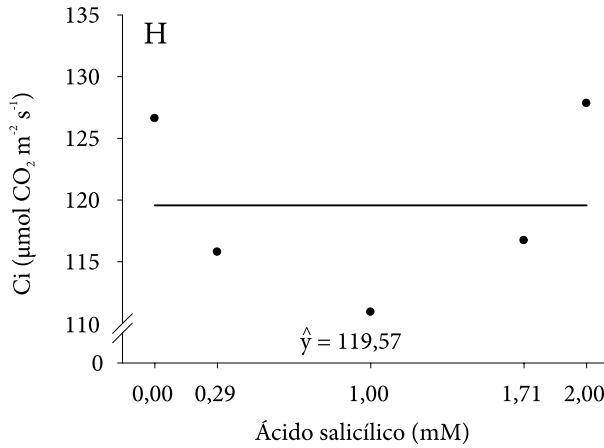
As variáveis de trocas gasosas (gs, A e E) foram significativamente reduzidas à medida que a concentração de sal foi incrementada acima de 3,53, 3,09 e 3,66 dS m<sup>-1</sup>, repectivamente (Figura 4). A aplicação de ácido salicílico não apresentou diferenças significativas para essas variáveis.











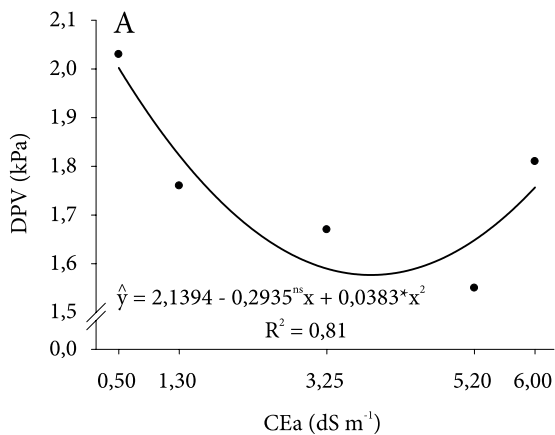
**Figura 4.** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e do ácido salicílico na condutância estomática (gs - A e B), fotossíntese líquida (A - C e D), transpiração (E - E e F) e concentração de carbono interno (Ci - G e H) de manjerição (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) aos 30 dias após a irrigação com água salina. \*, \*\*, <sup>ns</sup>: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente.

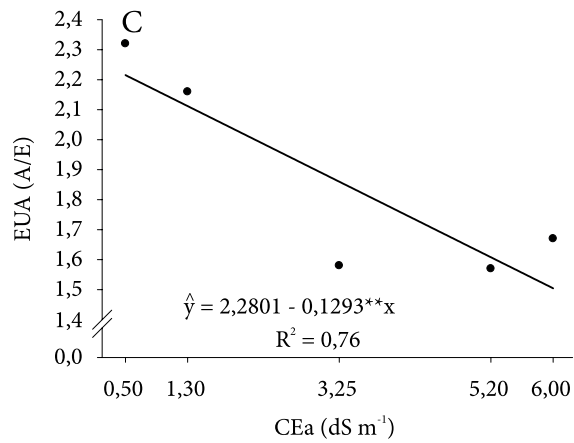
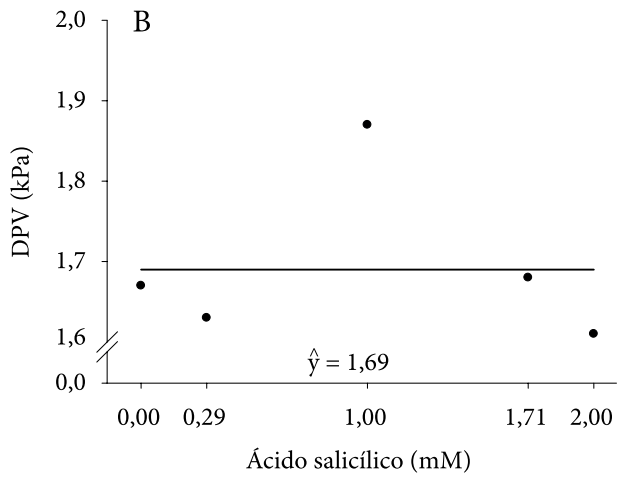
Para a concentração de carbono interno notou-se que houve incremento até 5,2 dS m<sup>-1</sup>, diminuindo em seguida. Esse fato pode ser caracterizado com uma resposta de aclimatação da planta ao estresse. Essas reduções nas taxas gasosas corroboram com os resultados encontrados por Neves *et al.* (2009) em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp.), onde verificaram que a aplicação contínua de água com CEa de 5 dS m<sup>-1</sup> teve efeito negativo para a condutância estomática, fotossíntese líquida e transpiração, sobretudo na condutância estomática.

A oscilação na taxa fotossintética está intimamente relacionada à condutância estomática, e pode ser atribuída a oscilação nessa variável. É possível observar na Figura 4 que um estresse salino moderado (até 5,2 dS m<sup>-1</sup>) não afetou a abertura dos estômatos, no entanto, o incremento do estresse faz com que haja queda na condutância estomática, e conseqüentemente danos à maquinaria fotossintética. Com isso, ocorre uma regulação da entrada de CO<sub>2</sub>, principal gás utilizado durante a fotossíntese (ENDRES *et al.*, 2010; FEITOSA *et al.*, 2016).

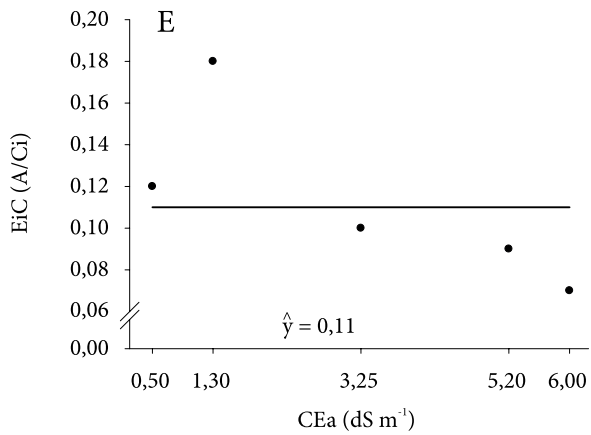
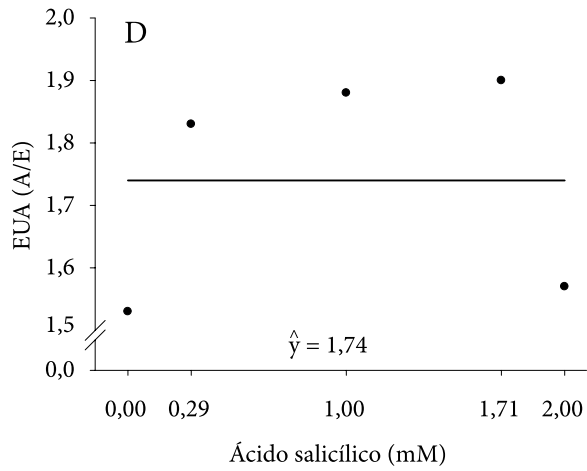
A transpiração é o processo no qual a planta perde água para o meio ambiente, além de ser um componente do balanço de energia que determina a temperatura foliar (TRENTIN *et al.*, 2011). Em se tratando de eventos abióticos como o excesso de sais no solo ou na água de irrigação, a transpiração passa a ser comprometida devido ao efeito osmótico causado pela salinidade (TAIZ *et al.*, 2017). Portanto, a fim de escapar a esse estresse, a planta utiliza como mecanismo de proteção a redução da transpiração, evitando assim a perda de água através do fechamento dos estômatos (ASSIS JÚNIOR *et al.*, 2007). Como retrato dessa variação, observa-se relação direta com a taxa fotossintética e a condutância estomática (NOBRE *et al.*, 2010).

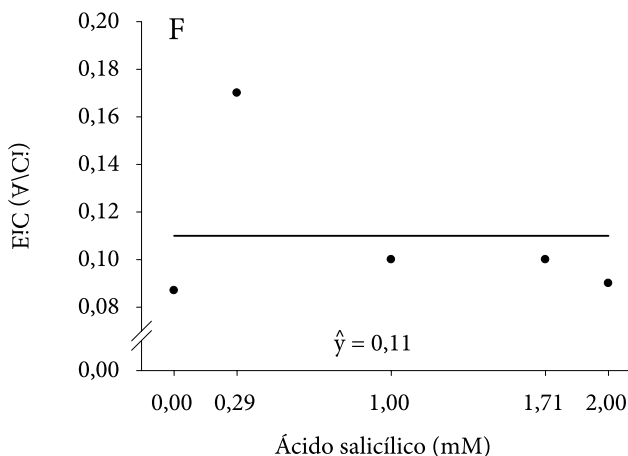
O déficit de pressão de vapor (DPV), eficiência do uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) são mostradas na Figura 5. Notou-se que a CEa diferiu estatisticamente para as duas primeiras variáveis. Quanto à aplicação de ácido salicílico não houveram diferenças significativas.











**Figura 5.** Efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e do ácido salicílico no déficit de pressão de vapor (DPV - A e B), eficiência do uso da água (EUA - C e D) e eficiência intrínseca de carboxilação (EiC - E e F) de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) aos 30 dias após a irrigação com água salina. \*, \*\*, ns: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente.

O déficit de pressão de vapor apresentou decréscimo até a CEa de 3,85 dS m<sup>-1</sup>, mostrando aumento subsequentemente. Enquanto que a eficiência do uso da água apresentou efeito linear à medida que se elevou a CEa. Quanto à eficiência intrínseca de carboxilação, notou-se que houve um aumento dessa variável entre 0,5 e 1,3 dS m<sup>-1</sup>, decaindo em seguida. O mesmo comportamento foi observado, para esta variável, quanto à aplicação de ácido salicílico. Já para o efeito da aplicação desse ácido para o déficit de pressão de vapor constatou-se que houve aumento até 1,0 mM, enquanto que para a eficiência do uso da água houve decréscimo a partir de 1,71 mM.

A eficiência do uso da água é obtida através da relação entre as taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> e transpiração. Essa menor eficiência pode ser explicada em função do acionamento do mecanismo de defesa, através do fechamento dos estômatos, que diminui a condutância estomática e, conseqüentemente, a redução na transpiração que levam ao aumento da eficiência do uso da água (TAIZ *et al.*, 2017). O déficit de pressão

de vapor é um importante fator ambiental que contribui para o estudo da fisiologia de plantas sob estresse (TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2011). Pode-se atribuir esse comportamento a regulação da abertura estomática que dificulta a perda de água para o meio, com isso, quando ocorre menor condutância estomática, maiores são as taxas de déficit de pressão de vapor.

## 4 CONCLUSÕES

O crescimento do manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) foi afetado negativamente pelo aumento da salinidade da água de irrigação. A condutividade elétrica da água de irrigação até  $5,2 \text{ dS m}^{-1}$  favorece os índices de clorofila a, b e total, o rendimento quântico do PSII, condutância estomática, transpiração, concentração de carbono interno. A aplicação de ácido salicílico não possui efeito mitigador do estresse salino em plantas de manjericão.

## CAPÍTULO IV

# SALINIDADE HÍDRICA E ÁCIDO SALICÍLICO NO CRESCIMENTO, FITOMASSA E TROCAS GASOSAS DE *Ocimum basilicum* L.

## 1 INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos fatores ambientais mais críticos que limitam o crescimento da planta. Cerca de 900 milhões de hectares das terras agrícolas mundiais são afetados pela salinidade (MANCARELLA *et al.*, 2016). Sob condições de estresse salino, as plantas podem apresentar vários distúrbios fisiológicos (diminuição do potencial osmótico, da taxa fotossintética, da síntese hormonal, dentre outros), fenológicos (redução na biomassa, necrose foliar, perda de clorofila, dentre outros), acarretando, em casos mais severos, na senescência da planta (TRIVELLINI *et al.*, 2014). Como a maior parte das plantas cultivadas, o manjeriço pode ser afetado pela salinidade do solo e da água de irrigação (ATTIA *et al.*, 2011).

*Ocimum basilicum* L. é comumente conhecido como manjeriço, sendo uma espécie aromática e medicinal conhecida mundialmente. Seu óleo essencial é amplamente utilizado pelas indústrias de perfumarias, cosméticos, flavorizantes e de remédios. É conhecido na medicina popular como tônico carminativo, estomático e antiespasmódico e vermífugo (TARCHOUNE *et al.*, 2012; MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013).

Muitas são as estratégias utilizadas para diminuir os efeitos deletérios dos sais às plantas, dentre elas, o uso do ácido salicílico. Este ácido é um derivado fenólico, distribuído em uma ampla gama de espécies vegetais. É considerado um fitohormônio, desempenhando

papel importante na regulação do crescimento e desenvolvimento de plantas, germinação de sementes, produção de frutos, glicólise e floração. Além de outros fatores como a absorção e o transporte de íons, a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração (BAGHERIFARD *et al.*, 2015).

Alguns estudos foram desenvolvidos utilizando o ácido salicílico como mitigador dos efeitos do estresse salino em plantas de manjeriço (PARIZI *et al.*, 2011; SHEKOOFEH *et al.*, 2012; MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013; ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015). Porém, nas condições do Nordeste brasileiro esses estudos são escassos. Com nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito atenuante do ácido salicílico nas trocas gasosas, crescimento e fitomassa de plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L. cv. Cinnamon) submetidas ao estresse salino.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba localizado no município de Areia, PB (6° 51' 47" S; 35° 34' 13" O; 575 m), durante os meses de maio a agosto de 2017. O solo utilizado foi classificado como Planossolo (EMBRAPA, 2014), textura franco-arenosa, com as seguintes características físicas: areia (g kg<sup>-1</sup>): 756,9; silte (g kg<sup>-1</sup>): 59,1; argila (g kg<sup>-1</sup>): 184,0; densidade aparente (kg dm<sup>-3</sup>): 1,38; densidade de partícula (kg dm<sup>-3</sup>): 2,67; porosidade total (%): 48; capacidade de campo (g kg<sup>-1</sup>): 78; ponto de murcha permanente (g kg<sup>-1</sup>): 43.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial incompleto através da matriz composto central de box. Foram utilizadas cinco condutividades elétricas da água de irrigação (CEa) (0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e cinco doses de ácido salicílico (AS) (0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e 2,0 mM), com cinco repetições e duas plantas por repetição.

As sementes de manjeriço utilizadas foram da cultivar Cinnamon. As mudas foram produzidas em bandejas de polietileno de

162 células. Como substrato para a produção das mesmas foram usados solo e composto orgânico comercial (1:1 v/v). Vinte e cinco dias após plantio (DAP), as mesmas foram transplantadas para os vasos com solo previamente umedecido até a sua capacidade de campo. As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade volumétrica de  $5,0 \text{ dm}^{-3}$  preenchidos por solo e  $20 \text{ g dm}^{-3}$  de esterco de aves. Foi coletada uma amostra da mistura do solo e do esterco para a análise de fertilidade. A análise apresentou as seguintes características: pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ): 6,9; P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): 11,71;  $\text{K}^+$  ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): 873,43;  $\text{Na}^+$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,24;  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 1,6;  $\text{Al}^{+3}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,00;  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 4,65;  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,39; SB ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 7,52; CTC ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 9,12; V (%): 82,45; M.O ( $\text{g dm}^{-3}$ ): 22,73.

A irrigação foi realizada por lisimetria de drenagem à medida que se foi necessário. A água com as condutividades elétricas (CEa) desejadas foram preparadas adicionando-se uma mistura de sais de NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (7:2:1, respectivamente) em água ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) proveniente de local do experimento (MEDEIROS, 1992). As mesmas foram realizadas semanalmente, sendo utilizado condutivímetro portátil para a verificação. Foram utilizadas quatro plantas adicionais para a verificação da lâmina de água a ser aplicada. As mesmas foram irrigadas com CEa de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  e aplicado  $0,0 \text{ mM}$  de AS. Para a preparação das doses de ácido salicílico utilizou-se água destilada e adicionado Tween 80 a 0,05% como tensoativo, para melhorar a absorção pelas plantas. O tratamento controle para esse fator foi preparado com água destilada e Tween 80. As plantas foram borrifadas até serem molhadas completamente, com as soluções acima descritas, semanalmente, por um período de vinte e um dias. A análise de salinidade da água é mostrada a seguir (Tabela 1).

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas 60 dias após o início da irrigação com água salina (DAI). As análises de crescimento, fluorescência e índice de clorofila foram realizadas aos 60 DAI. As determinações das trocas gasosas foram realizadas utilizando um analisador de gás infra-vermelho (LI-COR® - modelo LI-

6400XT, Nebraska, USA), sendo as medições aferidas entre as 9 e 10h00. Mediu-se as variáveis: taxa de fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs) ( $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração de carbono interno (Ci) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor (DPV) ( $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ ), eficiência do uso da água ( $\text{EUA} = \text{A/E}$ ) e eficiência intrínseca de carboxilação ( $\text{EiC} = \text{A/Ci}$ ).

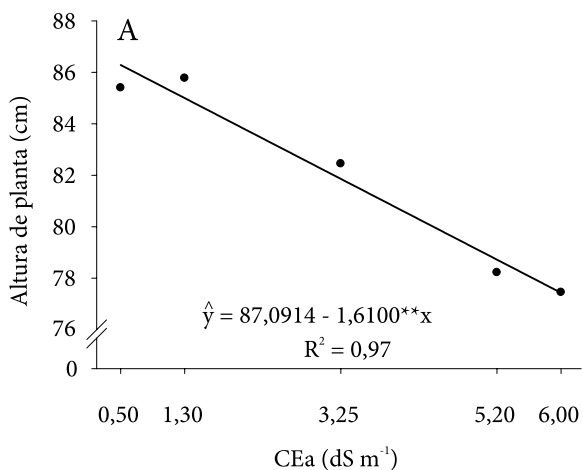
**Tabela 1.** Análise de química das águas salinas utilizadas para irrigação

	Condutividades				
	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
pH	7,70	7,60	7,90	6,30	7,80
CEa	0,50	1,30	3,25	5,20	6,00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3,13	3,66	4,22	4,26	4,60
K <sup>+</sup>	0,26	0,19	0,22	0,20	0,20
Na <sup>+</sup>	2,28	9,37	25,44	40,62	49,56
Ca <sup>+2</sup>	2,01	1,83	1,93	1,99	0,90
Mg <sup>+2</sup>	1,08	0,98	0,86	0,84	0,90
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,93	0,85	1,07	1,15	1,10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,67	2,50	2,50	2,83	2,67
Cl <sup>-</sup>	4,17	12,50	32,83	54,00	63,83
RAS	2,27	9,79	25,90	40,72	49,56
PST	2,05	11,65	26,98	37,03	41,81

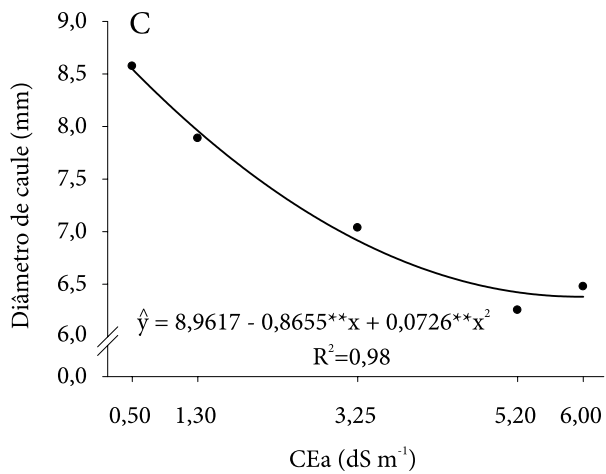
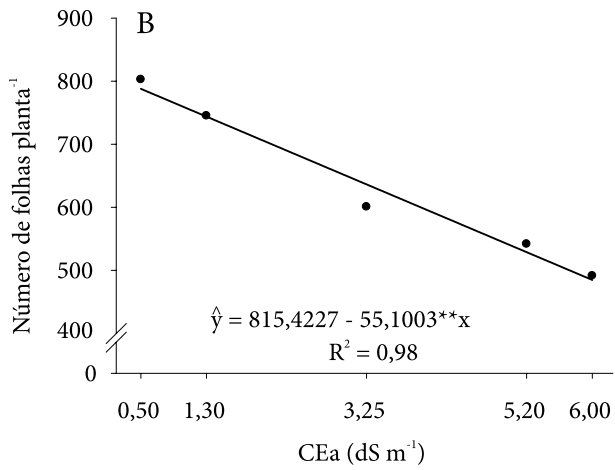
Aos 64 DAI, as plantas foram colhidas e separadas (raiz, caule, folha e inflorescência) e pesadas em balança semianalítica (0,01 g). A área foliar foi obtida através da média do produto do comprimento e da largura de 20 folhas e o fator de forma de área foliar (0,6775 adimensional). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e realizada a análise de regressão polinomial utilizando o programa estatístico SAS University (CODY, 2015).

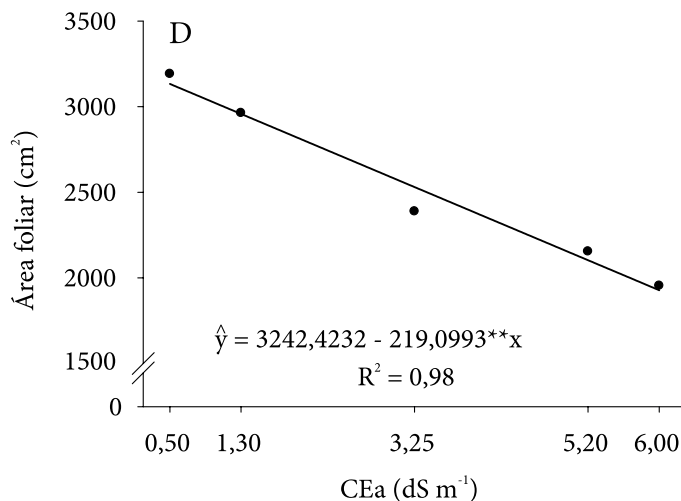
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houveram interações significativas entre o ácido salicílico (AS) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa). O ácido salicílico não apresentou efeito sobre as variáveis analisadas. No entanto, a irrigação com águas salinas (CEa) apresentou efeito em todas as variáveis analisadas. A altura de plantas (AP), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC) e a área foliar foram afetados negativamente pelo aumento da CEa, como mostrado na Figura 1.









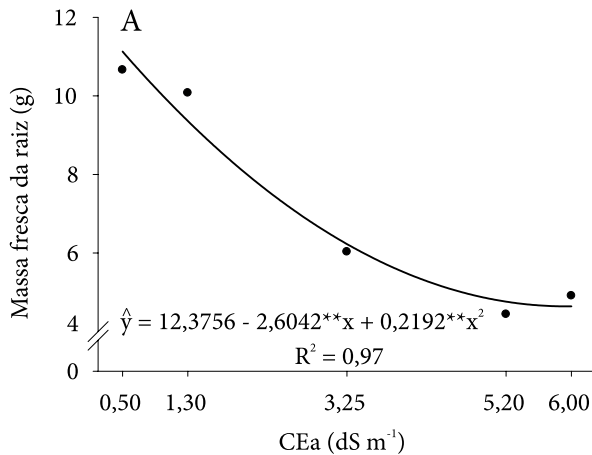
**Figura 1.** Altura de plantas (A), número de folhas (B), diâmetro de caule (C) e área foliar (D) de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) aos 60 dias após irrigação com água salina. \*\* Significativo a 1%.

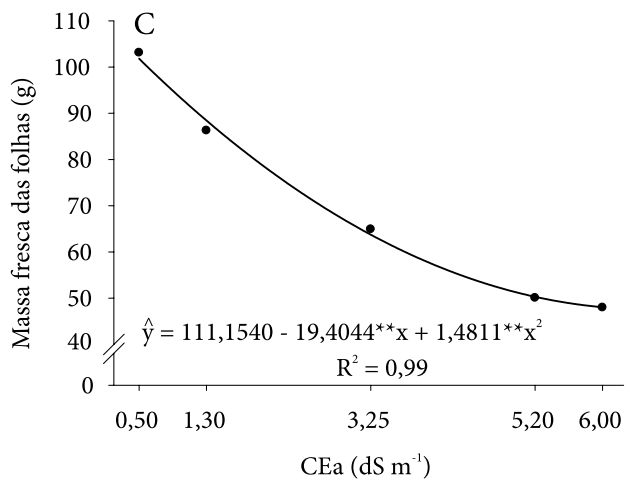
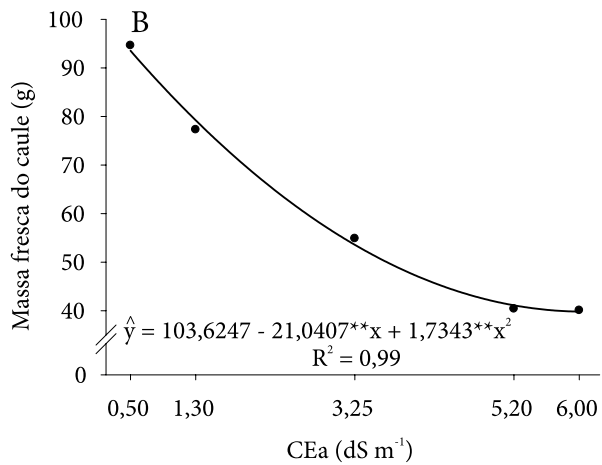
A altura de planta reduziu linearmente em função da CEa, com diminuição de 1,85% por acréscimo unitário da salinidade (dS m<sup>-1</sup>). Bione *et al.*, (2014) ao estudarem o efeito do estresse salino em manjericão, relatam que aos 49 dias após o transplantio, houve uma redução de 0,117 mm na altura de plantas. Já na presente pesquisa foi observado uma redução de 0,1612 mm aos 84 dias após o plantio. Quanto ao número de folhas, houve comportamento semelhante, sendo que apresentou decréscimo unitário de 6,76% e média de 55,1 folhas por unidade de CEa. Em condições salinas há restrição no crescimento das plantas, principalmente na altura, devido ao baixo potencial osmótico e hídrico exercido pelos íons, bem como sua interferência na assimilação de muitos nutrientes essenciais. Visto que o crescimento é o resultado da assimilação de nutrientes e divisão e alongamento celular (BATISTA-SÁNCHEZ, 2015).

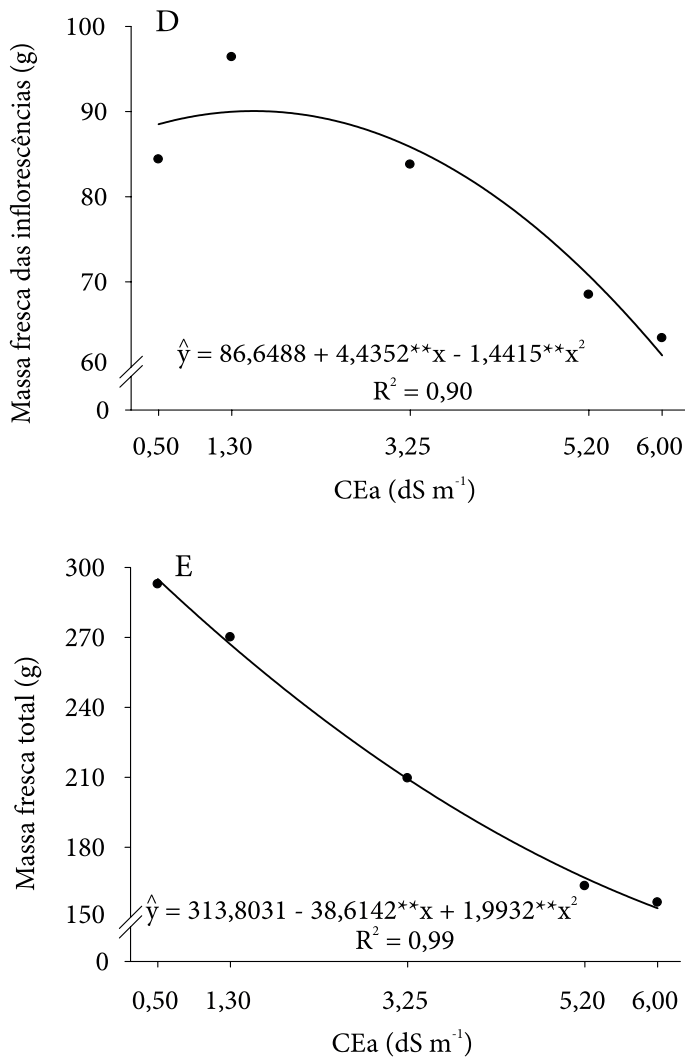
O diâmetro de caule foi reduzido até a CEa 5,96 dS m<sup>-1</sup>, tendo um pequeno aumento na CEa subsequente (6,0 dS m<sup>-1</sup>), apresentando,

assim, comportamento polinomial quadrático. No entanto, para a área foliar observou-se comportamento linear decrescente, apresentando decréscimo unitário de 6,76% e média de 219,1 cm<sup>2</sup> por unidade de CEa. A redução da área foliar em plantas submetidas ao estresse salino (que pode estar atrelada à diminuição na divisão celular e na expansão da superfície foliar) é, possivelmente, um mecanismo adaptativo, visando a redução da superfície de transpiração (MAIA *et al.*, 2017).

As massas frescas da raiz, do caule, da folha, da inflorescência e total são mostradas na Figura 2. É notório o decréscimo nessas variáveis quando se aumentou a CEa.







**Figura 2.** Massa fresca da raiz (A), massa fresca do caule (B), massa fresca da folha (C), massa fresca da inflorescência (D), massa fresca total (E) de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) aos 60 dias após irrigação com água salina. \*, \*\*: Significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Para a massa fresca da raiz notou-se que houve diminuição à medida que se aumentou a CEa até 5,94 dS m<sup>-1</sup>. Ao nível das raízes, os

sais diminuem consideravelmente a quantidade de pelos radiculares afetando a absorção de água e nutrientes e, por conseguinte, o crescimento das plantas (BATISTA-SÁNCHEZ *et al.*, 2015). A raiz, como um órgão de absorção, tem grande importância nas respostas ao estresse salino, em termos fisiológicos e metabólicos. Neste órgão há a síntese do ácido abscísico (um dos hormônios sinalizadores do estresse) que pode provocar mudanças na condutividade hidráulica e abertura estomática. Assim, a relação entre a salinidade e o crescimento da raiz é complexa, tendo em vista a relação Na:Ca afeta o crescimento e, conseqüentemente, a biomassa da raiz (PÉREZ *et al.*, 2014).

As massas frescas do caule, da folha e total apresentaram comportamento quadrático, decrescendo à medida que se aumentou a CEa, apresentando a máxima eficiência física em 6,07, 6,55 e 9,69 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. O mesmo comportamento ocorreu para a massa fresca da inflorescência, no entanto, para esta variável, a CEa de 1,54 dS m<sup>-1</sup> foi a que apresentou melhor resultado. As mudanças na morfologia influenciam na capacidade de as plantas assimilarem nutrientes, água e luz e quando estão sob estresse salino as mesmas podem sofrer alterações que podem influenciar nas respostas morfológicas e, por conseqüência no seu crescimento e sobrevivência (REYES-PÉREZ *et al.*, 2013).

O distúrbio causado por esse estresse pode acarretar na redução do crescimento da planta, afetando o seu metabolismo e, conseqüentemente, a produção de matéria orgânica (KHALID; SILVA, 2010). Bione *et al.* (2014), relatam que a fitomassa fresca de manjerição foram reduzidas linearmente pelo aumento da CEa. O mesmo foi observado por Mohammadzadeh *et al.* (2013).

Quanto à aplicação do AS, o crescimento e as fitomassas frescas não mostraram diferenças, contudo, seus valores são mostrados na Tabela 2.

Ao aumentar a dose de AS de 0,29 a 1,71 mM, notou-se que a altura de plantas sofreu redução, no entanto, ao elevar-se a molaridade até 2,0 mM percebeu-se que houve aumento para esta variável. Quanto ao número de folhas, observou-se que até 1,71 mM de AS não houve

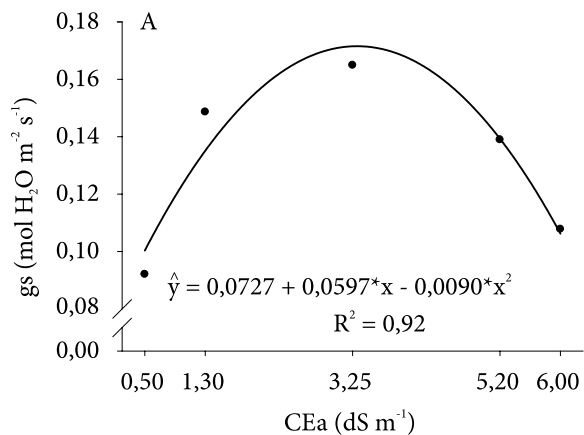
grandes variações entre as médias, no entanto, ao elevar a mesma para 2,0 mM, houve redução de 16,5%. O mesmo comportamento foi observado para a área foliar, visto que esta variável está diretamente relacionada com àquela. Já o diâmetro do caule aumentou até 1,0 mM, decrescendo nas molaridades posteriores. Isso infere em afirmar que a aplicação de AS acima de 1,71 pode influenciar no estande da planta, e conseqüentemente, na menor absorção de energia solar. O ácido salicílico e outros salicilatos são conhecidos por afetar várias atividades fisiológicas e bioquímicas das plantas, atuando como um regulador endógeno que afeta potencialmente o crescimento e a produtividade nas plantas (HAYAT *et al.*, 2010). No entanto, quando aplicado em demasia pode apresentar efeitos adversos.

A aplicação de AS até 0,29 mM aumentou a massa fresca da raiz, sendo que a partir dessa molaridade há redução nesta variável. As massas frescas do caule e das folhas apresentaram acréscimo médio até a aplicação de 1,0 mM, enquanto que a massa fresca da inflorescência foi afetada negativamente até esta variável, aumentando seus valores médios quando se aumentou a molaridade. Quanto à massa seca total, notou-se que houve aumento até 0,29 mM, diminuindo até 1,71 mM, contudo, houve um pequeno aumento quando aplicou-se 2,0 mM de AS. Mohammadzadeh *et al.* (2013) ao avaliarem o efeito do AS sobre quatro genótipos de manjericão submetidos ao estresse salino, também não encontraram efeitos significativos do AS sobre a massa fresca da raiz e da parte aérea.

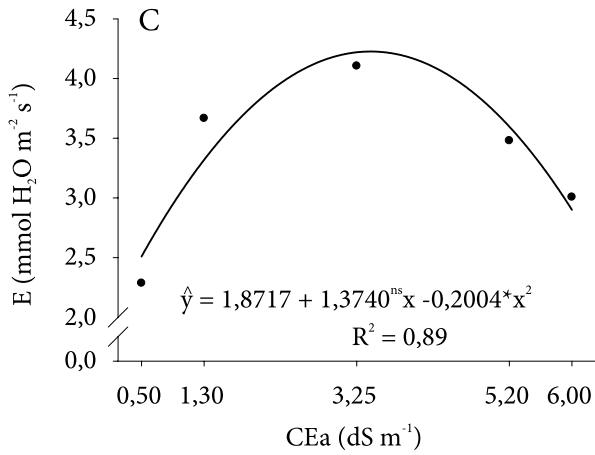
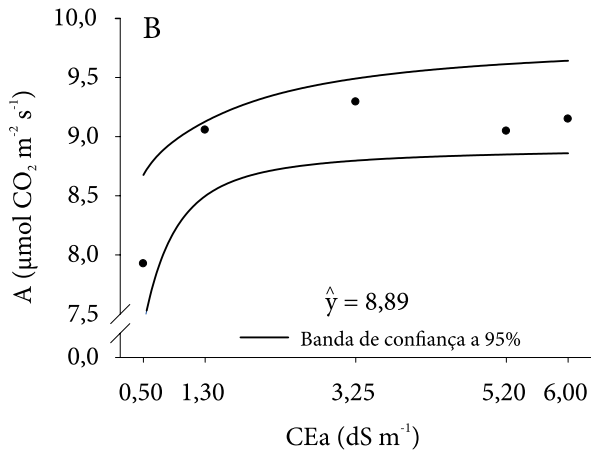
O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afetou significativamente a condutância estomática (gs), transpiração (E), déficit de pressão de vapor (DPV) e eficiência do uso da água (EUA). Porém não afetou a fotossíntese líquida (A), concentração de carbono interno (Ci) e eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) (Figura 3).

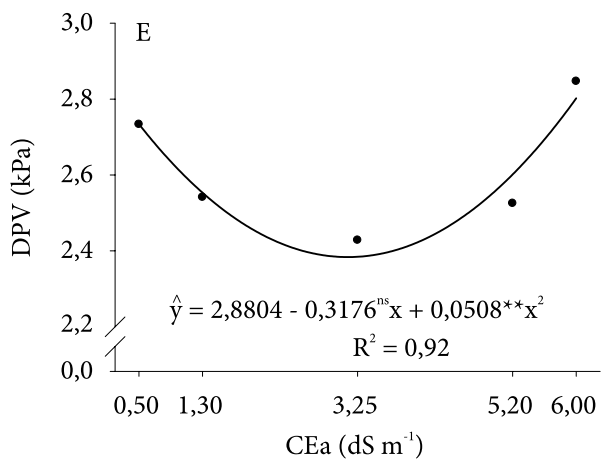
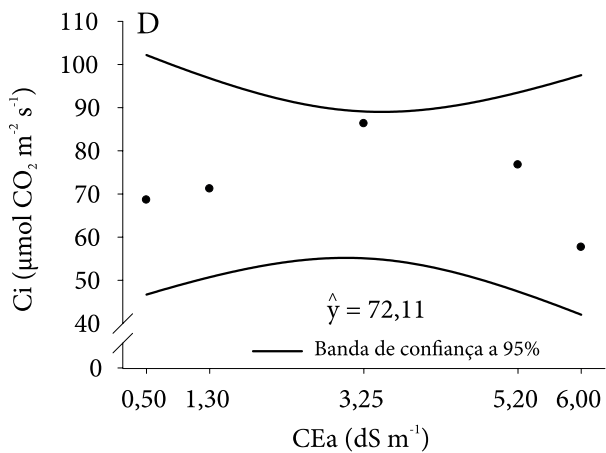
**Tabela 2.** Altura de plantas (AP), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), área foliar (AF), massa fresca da raiz (MFR), do caule (MFC), da folha (MFF), da inflorescência (MFI) e total (MFT) de manjeriço (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) em função do ácido salicílico (AS) aos 64 dias após a irrigação com água salina.

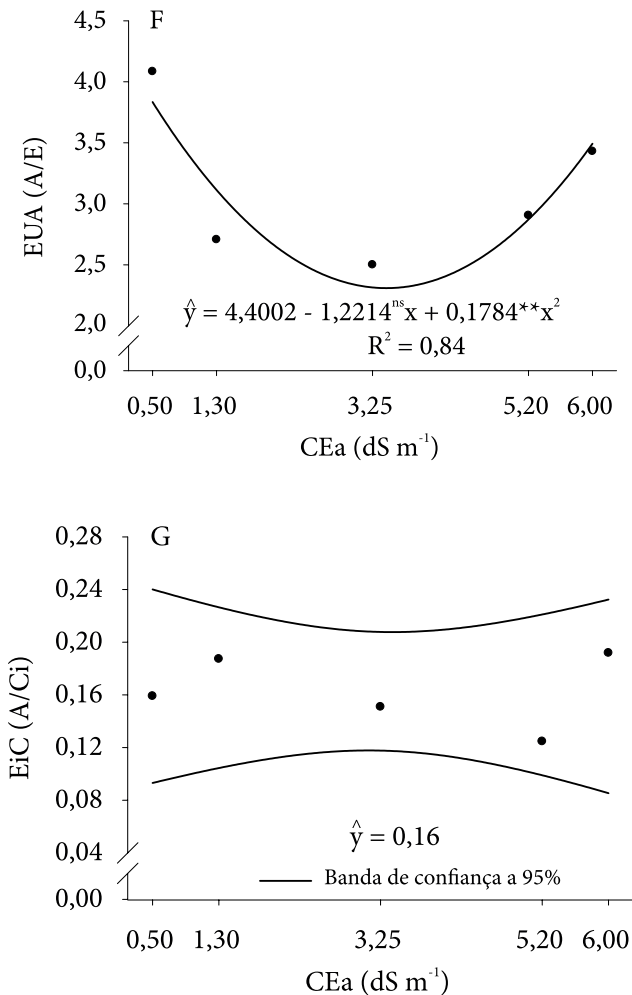
AS	Médias								
	AP	NF	DC	AF	MFR	MFC	MFF	MFI	MFT
0,00	81,55	635,40	7,23	2526,59	5,71	52,72	64,40	81,68	204,51
0,29	83,13	640,25	7,23	2545,87	7,54	60,96	69,30	82,70	220,50
1,00	81,85	640,23	7,35	2545,81	7,21	63,25	71,95	76,96	219,37
1,71	80,10	646,75	6,91	2571,72	6,98	56,70	67,05	82,18	212,91
2,00	83,85	540,10	6,86	2147,64	6,32	56,83	65,59	86,51	215,25











**Figura 3.** Condutância estomática (A), fotossíntese líquida (B), transpiração (C), concentração de carbono interno (D), déficit de pressão de vapor (E), eficiência do uso da água (F) e eficiência intrínseca de carboxilação (G) de manjericão (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) aos 60 dias após irrigação com água salina. \*, \*\*, <sup>ns</sup>: Significativo a 5 e 1% e não significativo, respectivamente.

A fotossíntese líquida não sofreu efeito significativo quanto ao aumento da CEa, no entanto, notou-se que a maior média (9,29

$\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) foi observada na CEa de  $3,25 \text{ dS m}^{-1}$ . O mesmo ocorreu para a concentração de carbono interno que apresentou nesta mesma CEa, valor médio de  $86,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , porém, a partir dessa CEa essa variável sofreu decréscimo. A eficiência intrínseca de carboxilação não apresentou diferenças, contudo, notou-se que a maior média (0,18) foi observada na CEa  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo que a partir desta houve decréscimo. A diminuição nos processos fotossintéticos, causado pelo estresse salino, provoca excesso de excitação de energia, que quando não dissipada adequadamente pode provocar danos ao sistema fotossintético. Além disso, a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) é aumentada pela energia em excesso, o que pode inibir a síntese da proteína D1 e danificar diretamente o PSII por oxidação (MANCARELLA *et al.*, 2016).

A condutância estomática e a transpiração apresentaram comportamentos semelhantes, onde houve acréscimo nos valores médios dessas variáveis até a CEa  $3,25 \text{ dS m}^{-1}$ . A partir desta, houve diminuição nos valores, o que implica em destacar que essas variáveis são afetadas pela CEa supracitada. Quanto ao déficit de pressão de vapor e a eficiência do uso da água, os comportamentos foram análogos, onde observou-se decréscimo até a CEa  $3,25 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo que nas CEa superiores houveram aumento para as mesmas. O estresse salino afeta a condutância estomática de forma imediata, em primeiro lugar e transitória devido a relações perturbadas com a água e pouco depois devido à síntese local de ácido abscísico (MUNNS; TESTER, 2008).

É difícil explicar as relações entre a fotossíntese e suas causas e efeitos sobre o crescimento da planta. Sendo difícil afirmar que a diminuição na fotossíntese possa ser atribuída à causa da redução do crescimento vegetal. Quando submetida à salinidade, inicialmente, a planta reduz a sua taxa fotossintética, no entanto, essa não é a única causa da redução do crescimento, visto que há uma rápida mudança na taxa de expansão foliar e aumento no teor de carboidratos armazenados. Contudo, à medida que esse estresse é prolongado, as respostas dos drenos para com a fonte podem ajustar a taxa fotossintética para corresponder

à demanda reduzida decorrente da inibição do crescimento (MUNNS; TESTER, 2008).

O ácido salicílico não interferiu nas trocas gasosas, contudo, seus valores médios são demonstrados a seguir (Tabela 3). É um fato que o ácido salicílico potencialmente acarreta uma ampla gama de respostas metabólicas nas plantas afetando os parâmetros fotossintéticos (HAYAT *et al.*, 2010).

A condutância estomática foi diminuída 1,0 mM, contudo, ao aumentar a molaridade houve aumento nesta variável. O mesmo comportamento pode ser observado para a transpiração e concentração de carbono interno. A fotossíntese líquida foi diminuída até 0,29 mM, aumentando até 1,71 mM, decaindo em seguida. O déficit de pressão de vapor e a eficiência do uso da água foi elevado até 1,0 mM, sendo afetado negativamente à medida que se elevou a molaridade.

**Tabela 3.** Condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A), transpiração (E), concentração de carbono interno (Ci), déficit de pressão de vapor (DPV), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência intrínseca de carboxilação (EiC) em plantas de manjericão em função da aplicação de ácido salicílico (AS) aos 60 dias após irrigação com água salina.

AS	Médias						
	gs	A	E	Ci	DPV	EUA	EUA
0,00	0,16	9,37	4,06	80,24	2,47	2,62	0,19
0,29	0,15	8,89	3,57	73,75	2,51	2,7	0,16
1,00	0,12	8,94	3,03	66,29	2,7	3,44	0,18
1,71	0,14	9,22	3,57	74,21	2,56	2,92	0,15
2,00	0,17	8,74	4,24	100,37	2,37	2,25	0,09

Já a eficiência intrínseca de carboxilação apresentou decrescentes a partir de 1,0 mM de AS. O mecanismo funcional da AS contra o estresse está relacionado ao seu papel na regulação de enzimas (como as catalases e peroxidases) antioxidantes e outros compostos com oxigênio ativo nas plantas. Esse ácido atua na direta ou indiretamente na produção ou ativação desses antioxidantes (ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015).

## 4 CONCLUSÕES

O crescimento, fitomassa e trocas gasosas de manjeriço (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) é afetado negativamente pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. A aplicação de ácido salicílico até 1,71 mM favorece o número de folhas e área foliar, quanto ao diâmetro do caule e fitomassa, até 1,0 mM. Até esta molaridade favorece, também, o déficit de pressão de vapor, eficiência do uso da água e eficiência intrínseca de carboxilação. Enquanto que a condutância estomática, transpiração e concentração de carbono interno é afetada positivamente acima desta molaridade.



## CAPÍTULO V

# QUALIDADE DE SEMENTES DE *Ocimum basilicum* SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO E ÁCIDO SALICÍLICO

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade fisiológica da semente pode ser influenciada por fatores bióticos e abióticos, dentre esses o estresse salino. Nesse sentido, o excesso de sais além de reduzir a absorção de água pelas sementes também ocasiona toxicidade, o que pode acarretar na morte do embrião (SANTOS *et al.*, 2016). Sob essas condições, o manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), espécie pertencente à família botânica Lamiaceae, estando inserida no comércio ornamental e de essências (principalmente pelo alto teor de linalol presente em seu óleo essencial) tem a germinação e a viabilidade de suas sementes afetadas (ÇAMLICA *et al.*, 2017; FERREIRA, *et al.*, 2015; MOUSAVI; JOUYBAN, 2012).

Atualmente, buscam-se alternativas para atenuar os efeitos do estresse salino sobre as plantas, dentre esses atenuantes toma-se destaque o ácido salicílico (AS). Este ácido é um hormônio de natureza fenólica, atuando como regulador do desenvolvimento vegetal, e que participa de diversos processos fisiológicos das plantas e tem sido bastante estudado como atenuante a estresses bióticos e abióticos (TAIZ *et al.*, 2017).

O AS desempenha uma função importante na resposta aos estresses abióticos, incluindo déficit hídrico, baixa temperatura e estresse salino (MIURA; TADA, 2014). Diversos estudos foram desenvolvidos utilizando o ácido salicílico com atenuante do estresse salino (ASHRAF



*et al.*, 2010; BAHRANI *et al.*, 2012; TONEL *et al.*, 2013; JINI; JOSEPH, 2017).

Sabendo que a qualidade da semente é um parâmetro de grande importância na melhoria do rendimento das ervas medicinais e que o ácido salicílico pode ser utilizado como mitigador dos efeitos deletérios causados pelo estresse salino, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade de sementes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) cultivado sob a aplicação de ácido salicílico como atenuante da salinidade da água de irrigação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção das sementes de manjeriço

As plantas de manjeriço foram cultivadas em ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba localizado no município de Areia, PB (6° 51' 47" S; 35° 34' 13" O; 575 m), durante os meses de maio a agosto de 2017.

As sementes utilizadas foram da cultivar Cinnamon. As unidades experimentais, compostas de vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 5,0 dm<sup>3</sup> foram preenchidos por solo coletado próximo ao local do experimento juntamente com 20 g dm<sup>-3</sup> de esterco de ave. O solo utilizado foi classificado como Planossolo de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2014), com as seguintes características físicas (EMBRAPA, 1997): areia (g kg<sup>-1</sup>): 756,9; silte (g kg<sup>-1</sup>): 59,1; argila (g kg<sup>-1</sup>): 184,0; densidade aparente (kg dm<sup>-3</sup>): 1,38; densidade de partícula (kg dm<sup>-3</sup>): 2,67; porosidade total (%): 48; capacidade de campo (g kg<sup>-1</sup>): 78; ponto de murcha permanente (g kg<sup>-1</sup>): 43. Da mistura do solo com o esterco foi coletada uma amostra da qual foi realizada a fertilidade, segundo metodologia proposta por EMBRAPA (1997). A análise apresentou as seguintes características: pH (H<sub>2</sub>O): 6,9; P (mg dm<sup>-3</sup>): 11,71; K<sup>+</sup> (mg dm<sup>-3</sup>): 873,43; Na<sup>+</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 0,24; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> (cmol dm<sup>-3</sup>): 1,6; Al<sup>3+</sup> (cmol

$\text{dm}^{-3}$ ): 0,00;  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 4,65;  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 0,39; SB ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 7,52; CTC ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ): 9,12; V (%): 82,45; M.O ( $\text{g dm}^{-3}$ ): 22,73.

A irrigação foi realizada por lisimetria de drenagem à medida que foi necessário. A água com as condutividades elétricas (CEa) desejadas foram preparadas adicionando-se uma mistura de sais de NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (na proporção equivalente de 7:2:1, respectivamente) em água ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) proveniente de local do experimento. Para a preparação das doses de ácido salicílico utilizou-se água destilada, adicionando-se Tween 80 a 0,05% como tensioativo, para melhorar a absorção pelas plantas. O tratamento controle para esse fator foi preparado com água destilada e Tween 80.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco condutividades elétricas da água de irrigação (CEa- 0,5; 1,3; 3,25; 5,2 e  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e cinco doses de ácido salicílico (AS- 0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e  $2,0 \text{ mM L}^{-1}$ ), com cinco repetições e duas plantas por repetição, totalizando em 9 combinações geradas através da matriz Composto Central de Box (CCB). Aos 120 dias após o plantio as sementes foram coletadas e armazenadas para posterior análise de qualidade.

## 2.2 Avaliação da qualidade de sementes de manjeriço

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Análise de Sementes (LAS), do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA-UFPB), Areia, PB. O teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 24 horas, sendo utilizadas quatro repetições de cinco gramas de sementes, conforme Brasil (2009).

O ensaio de germinação foi conduzido adotando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições de 50 sementes, semeando-se as mesmas em papel mata borrão no interior de caixas de acrílico do tipo gerbox, umedecidas com água destilada (2,5 vezes o peso do papel seco) e acondicionadas em câmara de germinação do tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) regulada à temperatura constante de 25

°C e fotoperíodo de 12 horas. A germinação foi avaliada do 4º ao 15º dia após a instalação do teste, considerando-se germinadas as sementes que apresentaram a protrusão da radícula e os dois primórdios foliares, com os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

A primeira contagem de germinação foi realizada no 4º dia após a instalação do teste de germinação, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais. O índice de velocidade de germinação foi obtido por meio de contagens diárias do número de sementes que produziram plântulas normais, calculando-se os resultados pela fórmula proposta por Maguire (1962). O tempo médio de germinação foi estabelecido por meio de contagens diárias das plântulas normais em cada dia do teste de germinação, sendo calculado por meio da expressão proposta por Labouriau (1983).

O ensaio de emergência de plântulas foi conduzido em casa de vegetação, sendo adotadas quatro repetições de 50 sementes, onde as mesmas foram semeadas em bandejas de plástico com capacidade de sete litros, contendo como substrato areia lavada e esterilizada. A porcentagem de plântulas emersas foi avaliada diariamente por meio de contagem das plântulas que apresentaram os cotilédones visíveis acima do substrato, sendo conduzido até o 15º dia após a semeadura, com os resultados expressos em porcentagem. O índice de velocidade de emergência foi obtido por meio de contagens diárias do número de plântulas emersas, calculado a partir da fórmula proposta por Maguire (1962).

Ao final do ensaio de emergência realizou-se a avaliação do comprimento de raiz, parte aérea e de plântulas, considerando-se o hipocótilo e o epicótilo. O comprimento de plântula foi obtido a partir do somatório dos valores do comprimento de raiz e da parte aérea, com o auxílio de régua milimetrada, os resultados foram expressos em cm.

A massa seca foi realizada acondicionando-se as plântulas em sacos de papel tipo Kraft e postas a secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C, até atingirem o peso constante. A pesagem foi realizada em

balança analítica com precisão de 0,001 g, sendo os resultados expressos g por planta.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos foi realizada análise de regressão. Também foi realizada a análise de correlação entre as variáveis analisadas, utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2017).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água inicial das sementes de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) variou 0,97 pontos percentuais (8,9 a 9,95%), sendo as mesmas cultivadas em função de diferentes níveis salinos e doses de ácido salicílico, estando esses valores dentro dos limites toleráveis entre as amostras (Tabela 1). Segundo Marcos Filho (2015), o limite máximo de variação é de 2,5 %, sendo indispensável à uniformização no teor de água das sementes, possibilitando a obtenção de resultados mais coerentes.

Foi observada interação significativa dos fatores condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e ácido salicílico (AS) para a porcentagem de germinação. No entanto, a CEa não apresentou efeito para as demais variáveis.

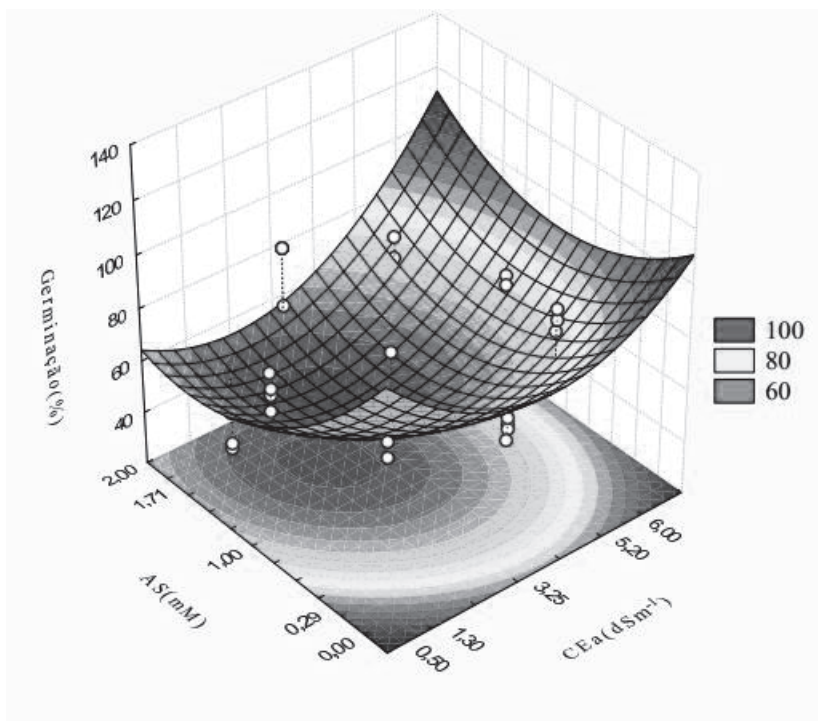
**Tabela 1.** Teor de água inicial de sementes de manjericão (*Ocimum basilicum* L.), produzidas sob diferentes níveis salinos e doses de ácido salicílico

Tratamento	CEa (dS m <sup>-1</sup> )	AS (mM)	Teor de água (%)
1	5,20	1,71	9,73
2	5,20	0,29	9,74
3	1,30	1,71	10,18
4	1,30	0,29	9,54
5	3,25	0,00	9,60
6	3,25	2,00	9,50
7	0,50	1,00	9,16
8	6,00	1,00	9,49
9	3,25	1,00	8,28

CEa = Condutividade elétrica da água de irrigação; AS = ácido salicílico.

A germinação é uma das fases crucial e decisiva no ciclo de crescimento de plantas, visto que determina o estabelecimento e a produtividade final da mesma (BAHRAI; POURREZA, 2012). A germinação pode ser afetada por diversos fatores bióticos e abióticos, dentre esses, o estresse salino, contudo, a aplicação de fitohormônios pode atenuar tais efeitos. No presente trabalho, a aplicação de ácido salicílico na fase de crescimento de manjericão favoreceu a germinação das sementes produzidas por essas plantas (Figura 1).

A aplicação de ácido salicílico atenuou o efeito do estresse salino na germinação do manjericão. As maiores porcentagens de germinação foram obtidas na concentração de 0,29 mM em 0,5 e 5,2 dS m<sup>-1</sup>, no entanto, acima de 1,0 mM houve diminuição na porcentagem de sementes germinadas (plântulas normais), sendo os menores valores obtidos quando se aplicou 1,71 mM de AS e CEa de 3,25 dS m<sup>-1</sup>.



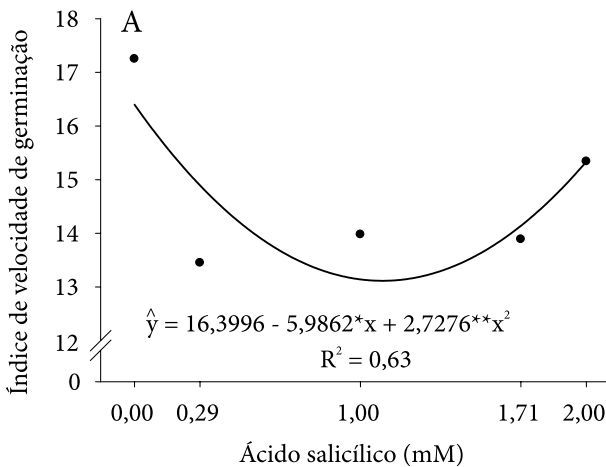
**Figura 1.** Germinação de sementes de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) cultivadas com diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e doses de ácido salicílico (AS)

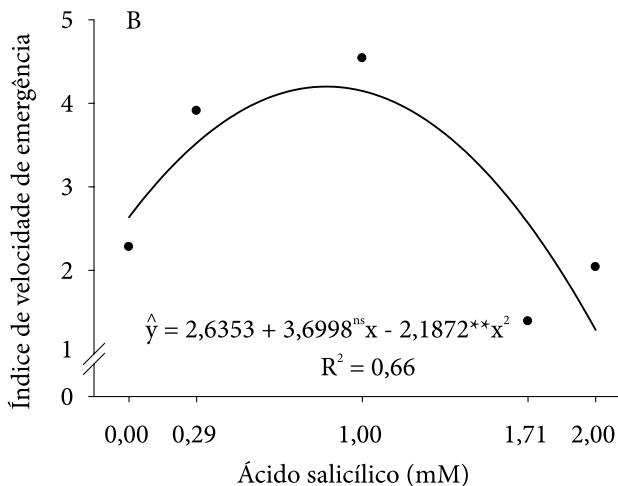
O ácido salicílico desempenha papel importante na eliminação dos radicais livres, atuando no retardo ou inibição da oxidação dos lipídios nas membranas celulares. Sua aplicação exógena é utilizada pelas sementes na adaptação ao estresse, pois pode atuar estimulando a expressão e o fortalecimento das propriedades das barreiras da parede celular, direcionando as rotas das pentoses fosfato e do chiquimato para a produção de compostos fenólicos (lignina e suberina), o que pode conferir a manutenção do vigor da semente (AGOSTINI *et al.*, 2013; TONEI *et al.*, 2013).

A salinidade reduz e retarda a germinação, diminuindo a absorção de água e causando toxicidade ao embrião (REYES-PÉREZ *et al.*, 2013).

Esses mesmos autores avaliando a germinação de cultivares de manjericão sob estresse salino, ressaltam que a cultivar Cinnamon (a mesma utilizada no presente trabalho) reduziu em 16,7% a sua germinação quando foi aplicado 100 mM de NaCl. Mousavi e Jouyban (2012) relatam que o aumento da salinidade até 8 dS m<sup>-1</sup> resultou em 30,2% de perda de da germinação de manjericão.

Para o índice de velocidade de germinação observa-se a ocorrência de um efeito quadrático em função das doses de ácido salicílico (Figura 2A). No entanto, o maior incremento promovido ocorreu na dose 0 mM, ocorrendo redução na velocidade de germinação das sementes com o aumento das doses, registrando-se o menor vigor das sementes na dose de 1,0 mM. Esse efeito pode ser promovido em função de um possível efeito alelopático do ácido salicílico, podendo inclusive promover a morte celular no interior da semente (TONEL *et al.*, 2013).





**Figura 2.** Índice de velocidade de germinação (A) e índice de velocidade de emergência (B) de sementes de manjeriço (*Ocimum basilicum*) semeadas com aplicação de ácido salicílico (AS)

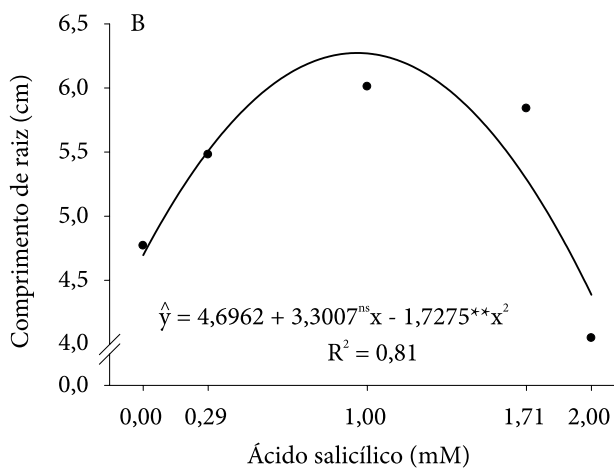
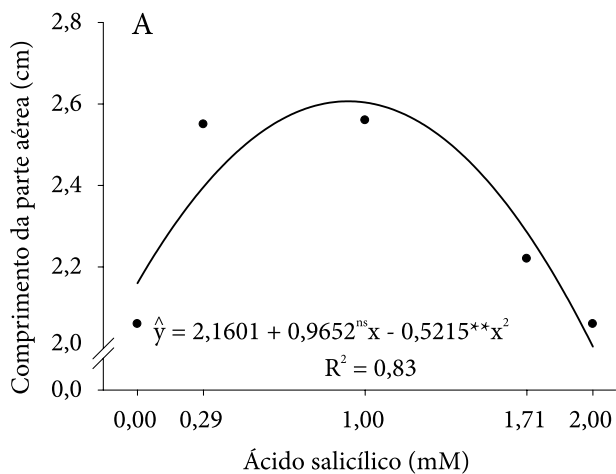
O ácido salicílico pode desempenhar diversas atividades no metabolismo vegetal, podendo promover efeitos que favorecem ao crescimento vegetal ou efeitos alelopáticos. Dentre essas funções ao ácido salicílico, o mesmo pode atuar inibindo a germinação das sementes ou dificultando o desenvolvimento do processo germinativo (ASHRAF *et al.*, 2010). Os resultados observados no presente trabalho estão de acordo com os obtidos para outras espécies a exemplo de sementes de camomila - *Chamomilla recutita* L. Rauschert (PACHECO *et al.*, 2007), calêndula - *Calendula officinalis* L. (CARVALHO *et al.*, 2007), milho - *Zea mays* L. (TONEL *et al.*, 2013) e sorgo sacarino - *Sorghum bicolor* L. Moench (LISBOA *et al.*, 2017).

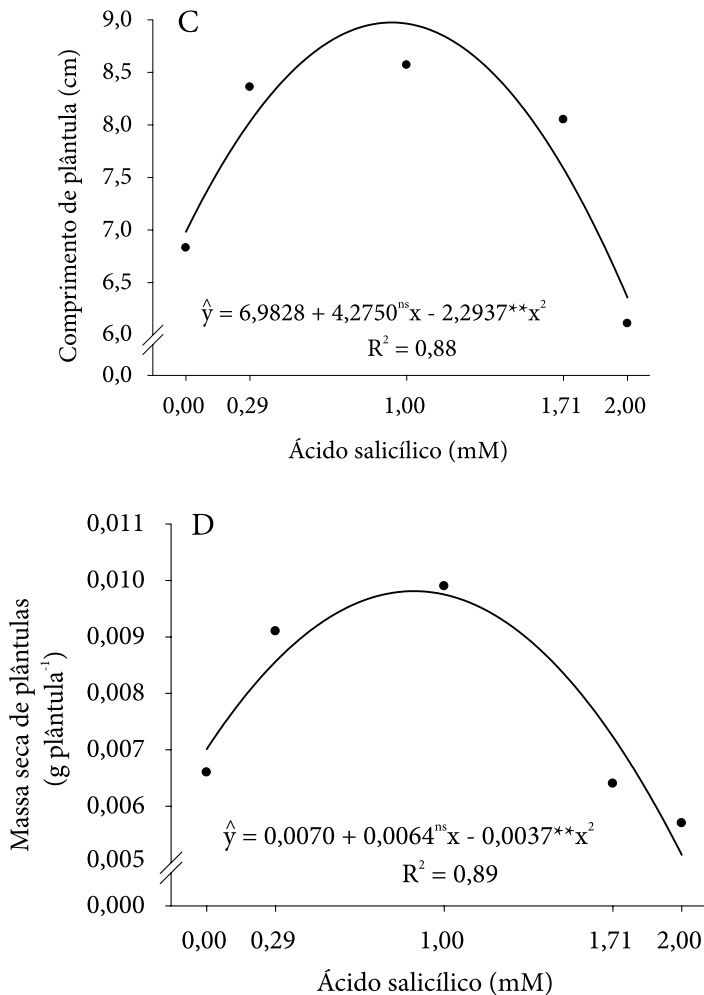
Os valores obtidos para o índice de velocidade de emergência se ajustaram ao efeito quadrático com o aumento na velocidade de plântulas até a dose de 1,10 mM, a partir dessa molaridade ocorre o decréscimo com o aumento das doses (Figura 1B). Esse aumento ocorre em função da atividade do ácido salicílico, o qual promove uma série de efeitos desde a germinação ao desenvolvimento da planta. O



fato de o índice de velocidade de emergência ter sido diferente dos resultados encontrados para o índice de velocidade de germinação pode estar atrelado às condições em que os mesmos foram conduzidos, visto que este foi em ambiente controlado, ao contrário daquele. O ácido salicílico é um composto fenólico que atua promovendo o aumento da lignificação da parede celular, isto em virtude do direcionamento das vias pentoses-fosfato e do chiquimato para a produção de lignina, resultando em sementes com maior vigor (PACHECO *et al.*, 2007), e consequentemente, promove o aumento na velocidade de emergência das plântulas. O efeito estimulante na emergência de plântulas é constatado por diversos autores, como em melão - *Cucumis melo* L. (MOREIRA *et al.*, 2014), pepino - *Cucumis sativus* L. (BERTONCELLI *et al.*, 2015) e arroz - *Oryza sativa* L. (WANG *et al.*, 2016).

Comparando-se os efeitos das diferentes concentrações de ácido salicílico (AS) nas sementes, observou-se comportamento quadrático para as variáveis: comprimento de raiz, comprimento da parte aérea, comprimento de plântulas e massa seca de plântulas, sendo que as doses que induziram o máximo vigor foi 0,95, 0,92, 0,93 e 0,88 mM de AS, respectivamente (Figura 3). A partir do momento em que as doses foram aumentadas ocorreu decréscimo no crescimento das plântulas. As altas concentrações de ácido salicílico podem promover efeitos tóxicos, induzindo a ocorrência de estresse oxidativo, reduzindo o crescimento da planta (HAO *et al.*, 2012).





**Figura 3.** Comprimento da parte aérea (A), comprimento da raiz (B) e comprimento de plântulas (C) e massa seca de plântulas (D) de manjericão (*Ocimum basilicum*) cultivadas com aplicação de ácido salicílico (AS)

Com relação ao crescimento da parte aérea, da raiz e de plântulas tiveram um incremento máximo em função da aplicação da dose de 1,0 mM de ácido salicílico, com um aumento de 0,44; 1,58 e 1,99 cm em relação a menor dose (Figuras 3A, 3B e 3C, respectivamente). Isto ocorreu em função do ácido salicílico ser considerado um hormônio provedor

do crescimento vegetal, possibilitando um maior desenvolvimento das plântulas. O ácido salicílico é um composto fenólico que desempenha importantes funções na planta, atuando na regulação do crescimento vegetal, desenvolvimento e na defesa da planta contra condições de estresse (MIURA; TADA, 2014). Esse comportamento estimulante no crescimento até os níveis tolerados é constatado em outras espécies vegetais, como em pepino - *Cucumis sativus* L. (HAO *et al.*, 2012), trigo - *Triticum aestivum* L. (KANG *et al.*, 2013), mostarda - *Sinapis alba* L. (NAZAR *et al.*, 2015) e em arroz - *Oryza sativa* L. (JINI; JOSEPH, 2017).

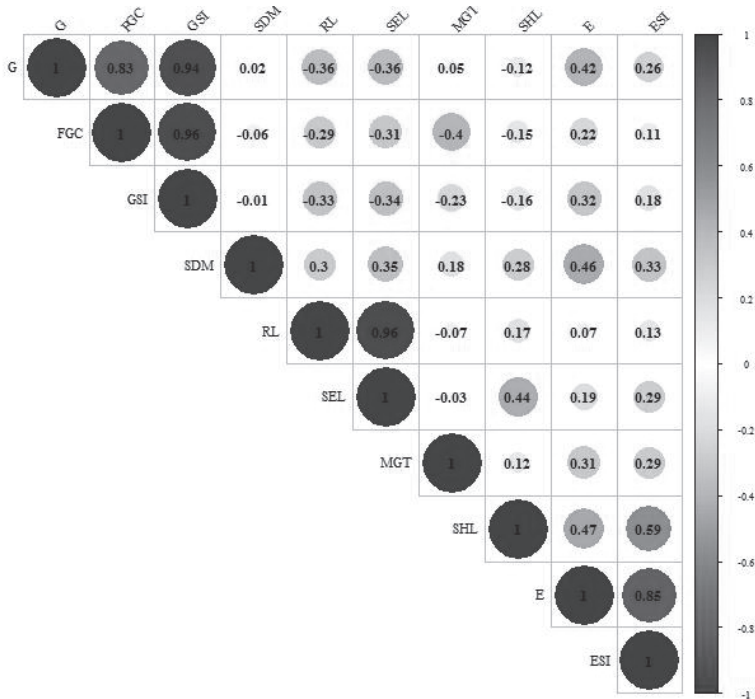
A massa seca de plântulas (Figura 3D) apresentou o mesmo comportamento obtido para o comprimento de plântulas (Figura 3C), ocorrendo o incremento na biomassa em função das doses de ácido salicílico, sendo os maiores valores obtidos nas plântulas oriundas de sementes cultivadas sob a dose de 1,0 mM, a partir daí ocorreu decréscimo no conteúdo de biomassa seca das plântulas. Esse acúmulo de biomassa em função da aplicação de ácido salicílico possibilita que a planta consiga manter o crescimento mesmo em condições adversas, promovendo uma maior expressão de proteínas envolvidas na fotossíntese e no metabolismo de defesa da planta (SHARMA *et al.*, 2017).

De acordo com Mazzuchelli (2014), esses aumentos na produção de biomassa podem estar relacionados com a ação direta do ácido salicílico sobre uma diferenciação específica dos tecidos e também o crescimento de órgãos vegetais. Observa-se que o ácido salicílico aumentou na produção de biomassa até certo ponto, seguida de um decréscimo com o aumento da dose. Isso pode ser devido o mesmo atuar como um hormônio antagônico a auxina, ou seja, quando em alta concentração no tecido celular tende a inibir o crescimento vegetal.

Ao ser realizada a correlação entre as variáveis (Figura 4), constataram-se altas correlações positivas entre as variáveis de germinação e o vigor de plântulas expresso pelo seu crescimento.

O índice de velocidade de germinação foi altamente correlacionado com a primeira contagem de germinação (0,96). Quanto à emergência, notou-se que a mesma possui maior correlação positiva com o índice

de velocidade de emergência (0,85). As maiores correlações positivas foram encontradas entre a primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação (0,94) e entre o comprimento de raiz e comprimento de plântula (0,96); e negativa entre primeira contagem de germinação e tempo médio de germinação (0,40).



**Figura 4.** Correlação de Pearson entre a germinação (G), Primeira Contagem de Germinação (FGC), índice de velocidade de germinação (GSI), tempo médio de germinação (MGT), comprimento de raiz (RL), comprimento de parte aérea (SHL), comprimento de plântula (SEL), emergência (E), índice de velocidade de emergência (ESI) e massa seca de plântula (SDM) de manjericão (*Ocimum basilicum*)

## 4 CONCLUSÕES

Sementes de manjerição produzidas sob do ácido salicílico e diferentes condutividades elétricas da água de irrigação influenciam a germinação de manjerição (*Ocimum basilicum*); o ácido salicílico apresentou efeito benéficos a qualidade da semente, influenciando positivamente o vigor das mesmas por meio dos testes de índice de velocidade de germinação, índice de velocidade de emergência, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, comprimento de plântulas e massa seca de plântulas; as doses acima de 1,0 mM de ácido salicílico possui efeito tóxico, reduzindo o vigor das sementes/plântulas de manjerição; as maiores correlações foram obtidas entre as variáveis de germinação.



## CAPÍTULO VI

# GROWTH AND PHYSIOLOGY OF *Ocimum basilicum* SUBMITTED TO SALINITY STRESS AND SALICYLIC ACID

## 1 INTRODUCTION

Soil salinization is a major worldwide problem that limits crops productivity (RIBEIRO *et al.*, 2017). The Brazilian Northeast, which presents semi-arid climate in most of its extension, is greatly affected by soil salinization. In this region, evaporation rates exceed precipitation, causing water deficit and high salts concentration in the soil, which inhibit plant growth and development (PEDROTTI *et al.*, 2015). Furthermore, low-quality irrigation water contributes to the soil salinization process (HANNACHI; VAN LABEKE, 2018). Among the species of economic interest cultivated in this region that are sensitive to salt stress we can mention basil.

Basil (*Ocimum basilicum* L.) belongs to the Lamiaceae family, which includes herbs and shrubs distributed in tropical and subtropical regions of Asia, Africa and the Americas. Basil is considered an economically important herb due to its medicinal, aromatic and spice characteristics, and it is used in natura or processed. The basil essential oil, which is extracted mainly from the leaves, also attracts interest from both industries and researchers (MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013).

Salinity stress short-term responses for most species are reduced osmotic potential followed by reduced growth. Long-term responses include oxidative stress and physiological and biochemical changes in the plant cells. Therefore, salinity stress cause direct damage to the plants growth and development (BOSCO *et al.*, 2009; LIANG *et al.*, 2018).



High concentrations of sodium and potassium damage the photosynthetic apparatus, by limiting stomatal opening and CO<sub>2</sub> assimilation, besides causing excessive reactive oxygen species (ROS) production and chlorophyll degradation reactions (SILVEIRA *et al.*, 2010). ROS are inevitable regular metabolism byproducts, that easily react with substances causing damaging cascade reactions, such as oxidation of cell membranes, lipids and DNA. This set of reactions generates an ionic homeostasis that leads to productivity loss, causing irreparable damage to the plant (TARCHOUNE *et al.*, 2012; JAKOVLJEVIĆ *et al.*, 2017). Several abiotic stresses lead to the overproduction of reactive oxygen species (ROS).

The exogenous application of salicylic acid (SA) have been studied as a treatment to alleviate the harmful effects of salinity stress. The SA, also called 2-hydroxybenzoic acid, is a phytohormone synthesized by the plant that belongs to a group of phenolic compounds that has an important role in maintaining resistance to stresses (SEYFFERTH; TSUDA 2014; ANGOOTI; NOURAFKAN, 2015).

Considering the use of soils and water with high salt content in the Brazilian Northeast region, as well as the great economic interest of basil (*Ocimum basilicum* L.), this paper aims to test the hypothesis that the exogenous application of salicylic acid is feasible to reduce salinity stress damages. Thus, the objective of this study was to evaluate the salicylic acid treatment in attenuating the salinity stress in basil plants, as well as its effect in the growth and ecophysiology of this species.

## 2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in a greenhouse at the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Paraíba, located in the city of Areia, Paraíba, Brazil (6° 51' 47" S, 35° 34' 13" W; 575 m). The soil used was classified as Planosol, sandy-loam texture, with the following physical characteristics: sand (g kg<sup>-1</sup>): 756.9; silt (g kg<sup>-1</sup>): 59.1; clay (g kg<sup>-1</sup>): 184.0; bulk density (kg dm<sup>-3</sup>): 1.38; particle density (kg dm<sup>-3</sup>): 2.67;

total porosity (%): 48; field capacity ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 78; permanent wilting point ( $\text{g kg}^{-1}$ ): 43.

The experimental design was a randomized block, with five electrical conductivities of the irrigation water ( $\text{EC}_w$  - 0.5, 1.3, 3.25, 5.2 and  $6.0 \text{ dS m}^{-1}$ ) and five doses of salicylic acid (SA - 0.0, 0.29, 1.0, 1.71 and  $2.0 \text{ mM}$ ), with five replicates and two plants per replicate. Totalizing in 9 combinations generated through the experimental matrix Central Composite Box.

The variety of basil used was the 'Cinnamon'. Basil seeds were sown in polyethylene trays containing 162 cells. As a substrate for the seedlings production, soil and commercial organic compost (1:1 v/v) were used. Twenty five days after sowing (DAS) the seedlings were transplanted to pots containing soil, previously moistened to their field capacity. The experimental units were composed of polyethylene pots with volume capacity of  $5.0 \text{ dm}^3$  filled with soil and 100 g of poultry manure. A sample of the soil and manure mixture was collected for fertility analysis and presented the following characteristics: pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ): 6.9; P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): 11.71;  $\text{K}^+$  ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): 873.43;  $\text{Na}^+$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 0.24;  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 1.6;  $\text{Al}^{+3}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 0.00;  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 4.65;  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 0.39; BS ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 7.52; CEC ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ): 9.12; BS (%): 82.45; OM ( $\text{g dm}^{-3}$ ): 22.73.

Irrigation was performed by drainage lysimetry as needed. For this, four plants were submitted to  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$  and  $0.0 \text{ mM}$  of SA. The desired electrical conductivities ( $\text{EC}_w$ ) were prepared by adding in the water ( $0.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) from the study site a mixture of the following salts: NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , in a 7:2:1 ratio (Medeiros, 1992). Salicylic acid (SA) solutions were prepared using distilled water and 0.05% of Tween 80, a nonionic surfactant for better absorption effect. The control treatment for this factor was prepared with distilled water and Tween 80. The above described solutions were sprayed in the basil plants weekly until they were completely wet, during twenty one days. The analysis of the saline water is shown in Table 1.

**Table 1.** Chemical analysis of the saline water used for irrigation

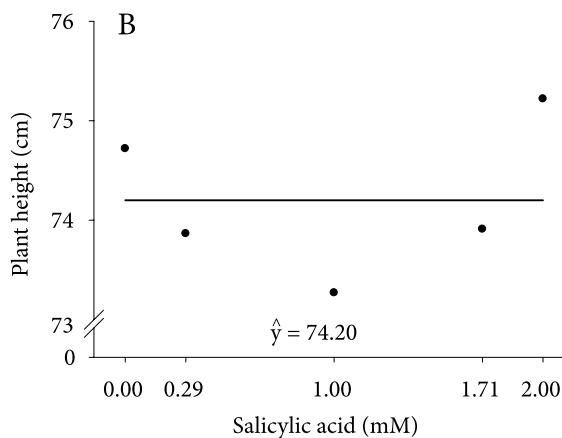
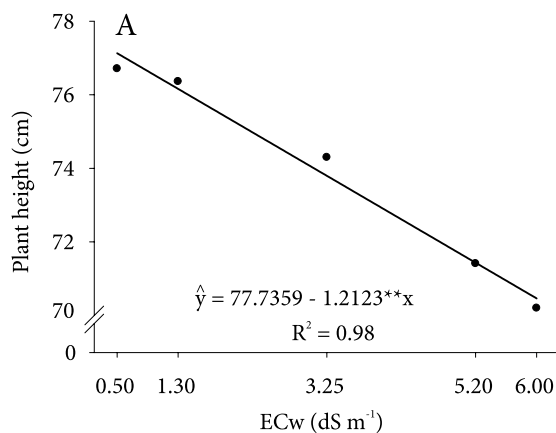
	Conductivities				
	0.50	1.30	3.25	5.20	6.00
pH	7.70	7.60	7.90	6.30	7.80
ECW	0.50	1.30	3.25	5.20	6.00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3.13	3.66	4.22	4.26	4.60
K <sup>+</sup>	0.26	0.19	0.22	0.20	0.20
Na <sup>+</sup>	2.28	9.37	25.44	40.62	49.56
Ca <sup>+2</sup>	2.01	1.83	1.93	1.99	0.90
Mg <sup>+2</sup>	1.08	0.98	0.86	0.84	0.90
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0.93	0.85	1.07	1.15	1.10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.67	2.50	2.50	2.83	2.67
Cl <sup>-</sup>	4.17	12.50	32.83	54.00	63.83
RAS	2.27	9.79	25.90	40.72	49.56
PST	2.05	11.65	26.98	37.03	41.81

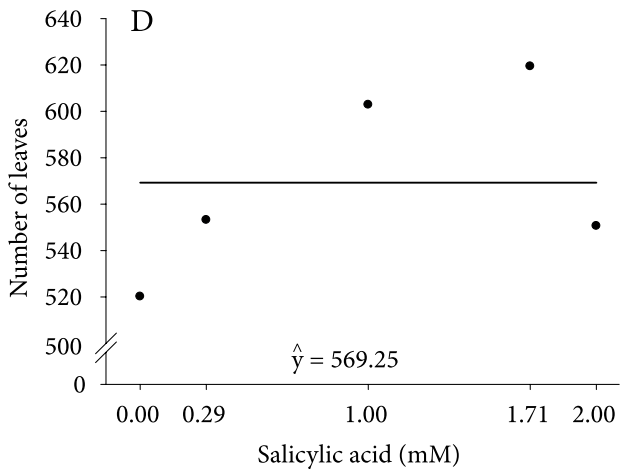
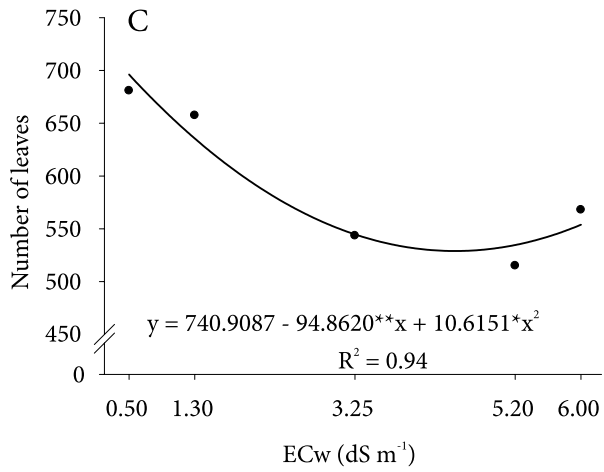
Chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll levels were determined by the non-destructive method, using a portable electronic chlorophyll meter (ClorofiLOG®, model CFL 1030, Porto Alegre, RS), and its values expressed as the Falker chlorophyll index (FCI). Chlorophyll fluorescence analysis was performed using a modulated fluorometer (Sciences Inc. - Model OS-30p, Hudson, USA). Foliar tweezers were placed for 30 minutes before the readings to adapt the leaves to the dark. The initial fluorescence ( $F_0$ ), maximum fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v = F_m - F_0$ ) and quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ) were measured.

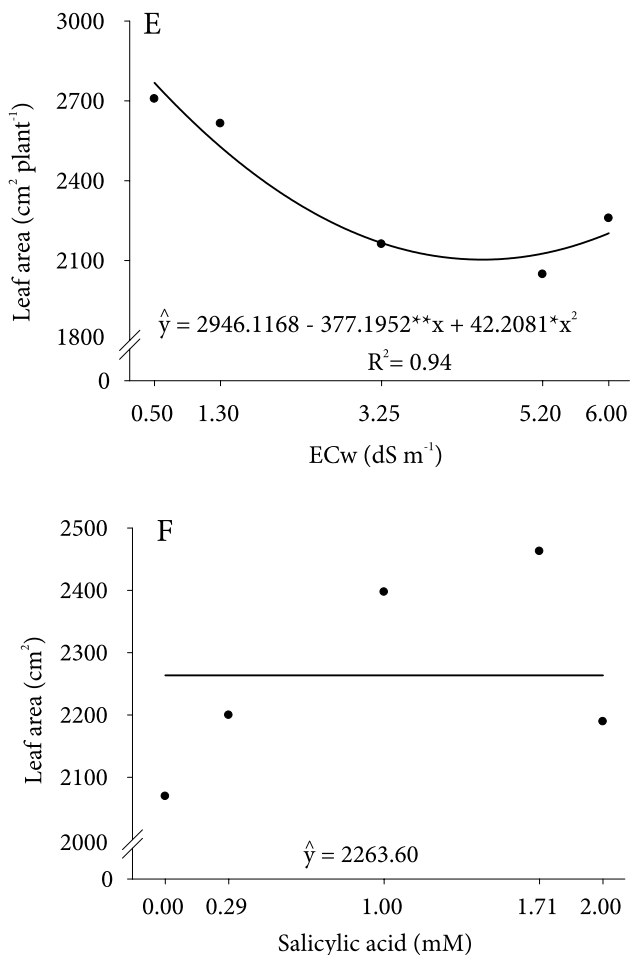
The leaf area was obtained through the product average of the length and width of twenty leaves and the leaf area form factor (0.6775 dimensionless). The obtained data were submitted to analysis of variance by the generalized linear model (GLM) using the statistical program SAS University (CODY, 2015).

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Increasing electrical conductivities of the irrigation water (EC<sub>w</sub>) negatively affected the basil plants growth (Figure 1). The salicylic acid (SA) treatments had no significant effect, however, the mean data are shown below. Plants under stress conditions tend to decrease their growth, in order to conserve energy, thus helping to show an appropriate defense response and reduce the risk of damage (ATTIA *et al.*, 2011).







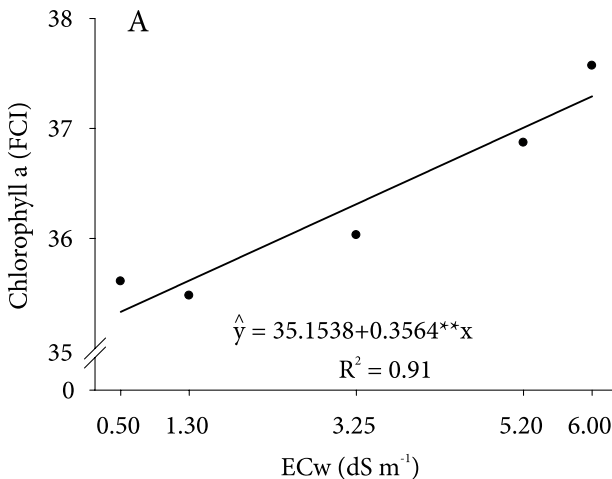
**Figure 1.** Effect of the irrigation water electrical conductivity and salicylic acid treatment on the plant height (A and B), leaf number (C and D) and leaf area (E and F) of basil plants (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) at 36 days after the irrigation with saline water started. \*, \*\*: P <0.05, P <0.01, respectively.

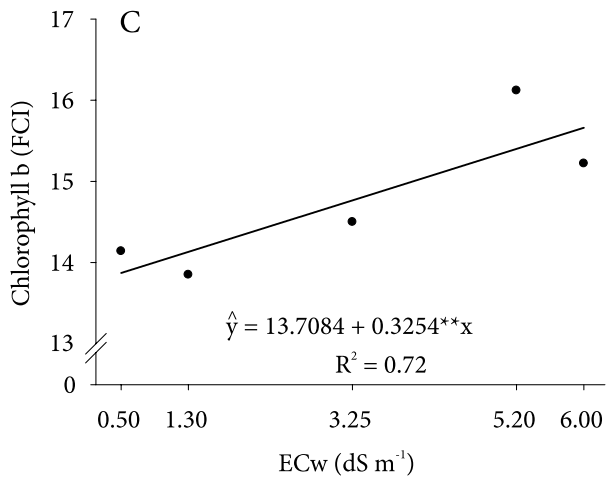
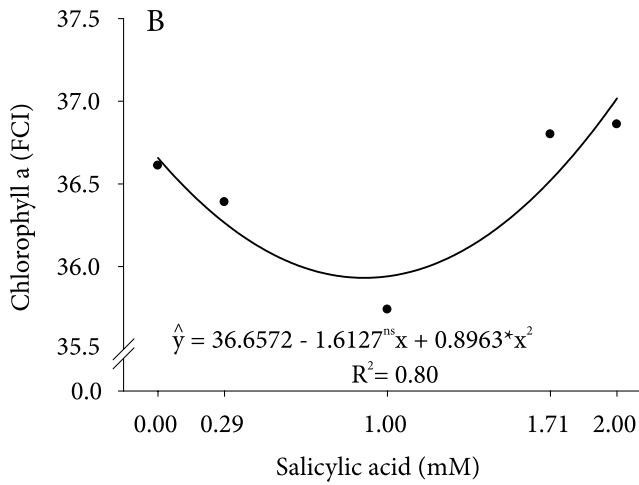
Plant height presented linear reduction as the ECw increased, showing a decrease of 1.56% per unit increased in salinity (dS m<sup>-1</sup>). Regarding the number of leaves and leaf area, it was observed that there was a decrease up to the ECw of 5.2 dS m<sup>-1</sup>, with a slight increase of 9.3%

in the EC<sub>w</sub> of 6.0 dS m<sup>-1</sup>. The salicylic acid treatment negatively affected the plants height up to the molarity of 1.0 mM. The number of leaves and leaf area, regarding the SA treatment, increased up to the concentration of 1.71 mM, decreasing in the posterior molarity (2 mM) of SA.

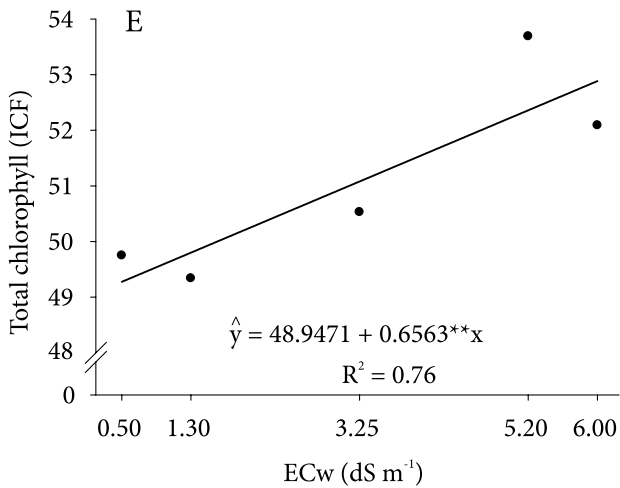
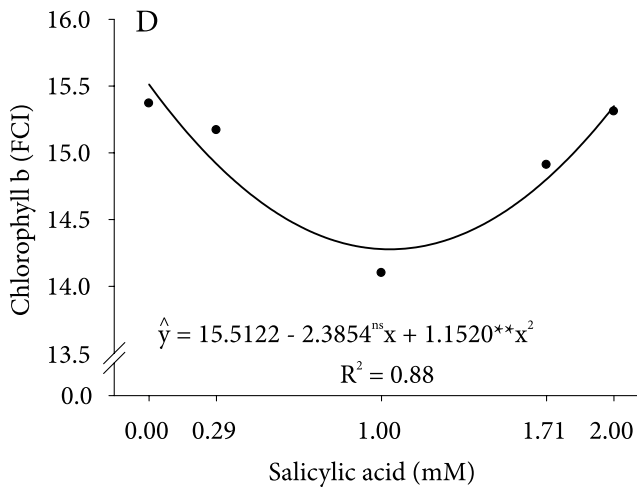
Reduced plant growth is one of the salinity stress early effects. The salts dissolved in the soil solution inhibit plant growth for two main reasons. First, it reduces the plant's ability to absorb water, which leads to slower growth. This is the osmotic effect of salinity stress. Secondly, it can enter the transpiration stream and cause injury to leaf cells that perform transpiration, further reducing growth (PARIHAR *et al.*, 2014).

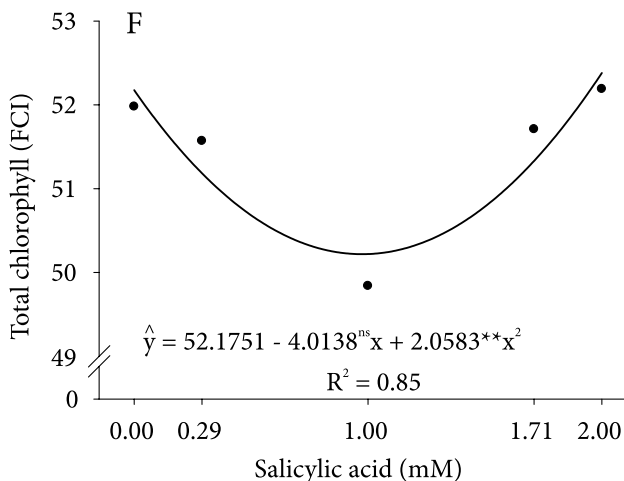
Generally, basil seems to be more salt-tolerant at the photosynthetic activity level and biomass production than at leaf development, which has its initiation or leaf expansion restricted according to the basil variety (ATTIA *et al.*, 2011). Chlorophyll a, b and total indexes are shown in Figure 2. It was observed a linear behavior for all these variables regarding the EC<sub>w</sub> and a quadratic behavior regarding the SA treatments.











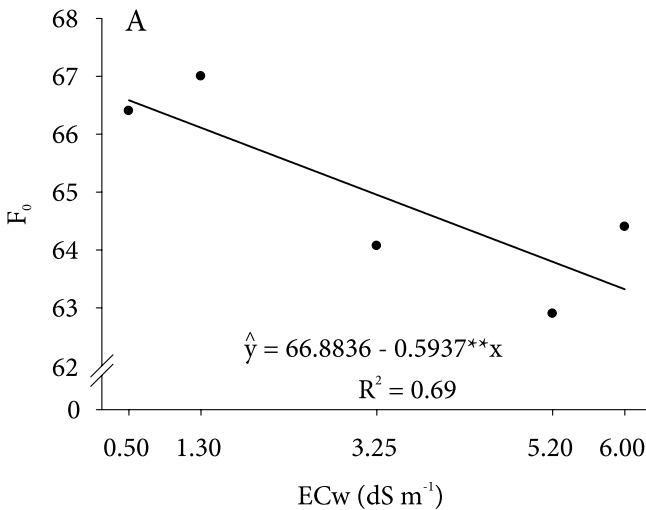
**Figure 2.** Effect of the irrigation water electrical conductivity and salicylic acid treatment on the chlorophyll a (A and B), chlorophyll b (C and D) and total chlorophyll (E and F) of basil plants (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) at 36 days after the irrigation with saline water started. \*. \*\*. ns: P <0.05, P <0.01, P 0.05, respectively.

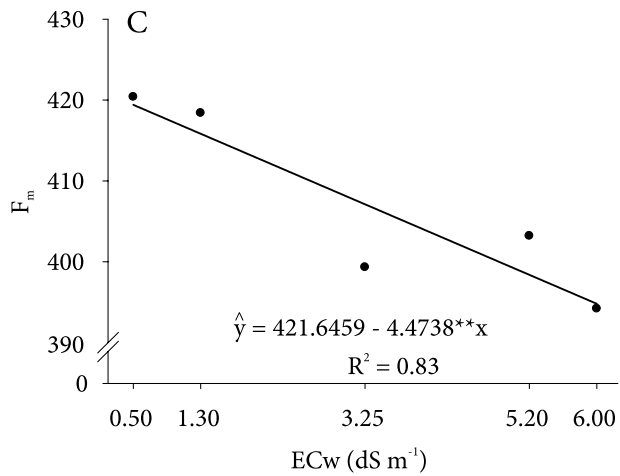
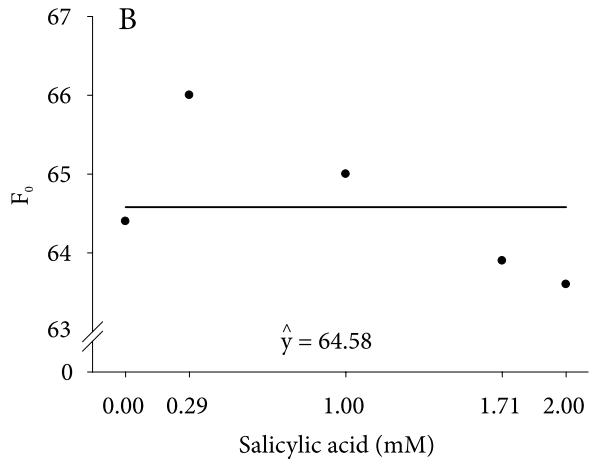
Chlorophyll a, b and total increased up to the EC<sub>w</sub> of 5.2 dS m<sup>-1</sup>, decreasing in the subsequent electrical conductivity (6.0 dS m<sup>-1</sup>). These chlorophyll contents increased 1.09; 2.66 and 1.53%, respectively, per unit increased in salinity. When studying two different basil varieties (Piccolo and Genovese) under salinity stress (50 mM), Attia *et al.* (2011), verified significant differences for chlorophyll a and b only for the Piccolo cultivar, which may indicate better adaptability of the Genovese cultivar to salinity conditions. Tarchoune *et al.* (2012), reported the same result for this last cultivar. These same authors point out that the decrease in the photosynthetic rate, under NaCl treatment, can be attributed to decreased CO<sub>2</sub> availability resulting from reduced stomatal conductance, but not due to photosynthetic apparatus damage. Regarding the SA treatment, all chlorophyll indexes measured decreased up to the SA concentration of 1.0 mM, and increased in the subsequent molarities.

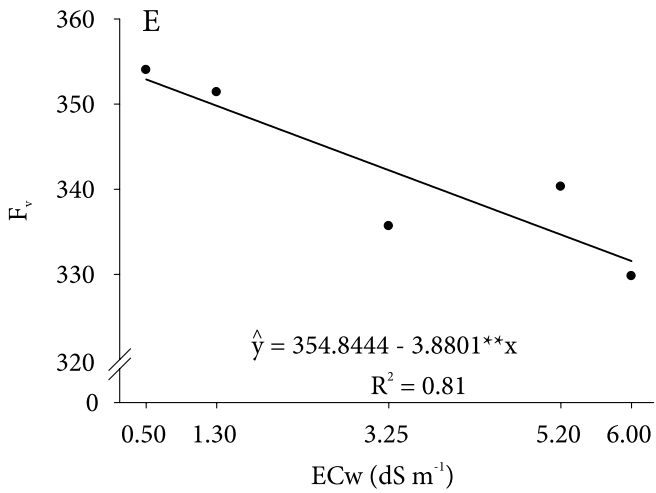
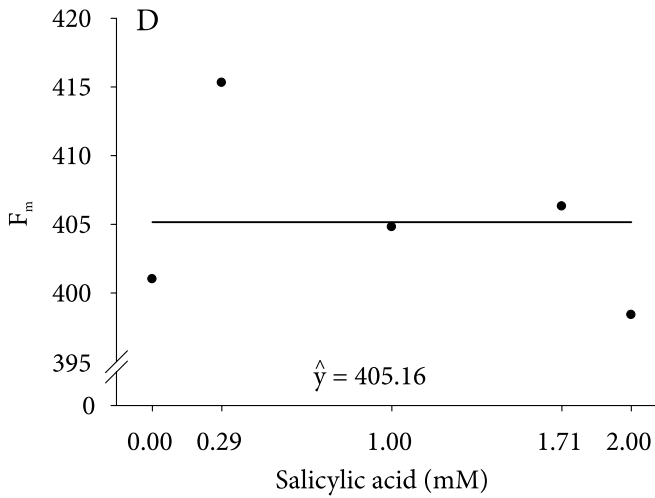
Chlorophyll fluorescence was negatively affected by the EC<sub>w</sub> increase. Increases in SA concentration also caused decreased chlorophyll

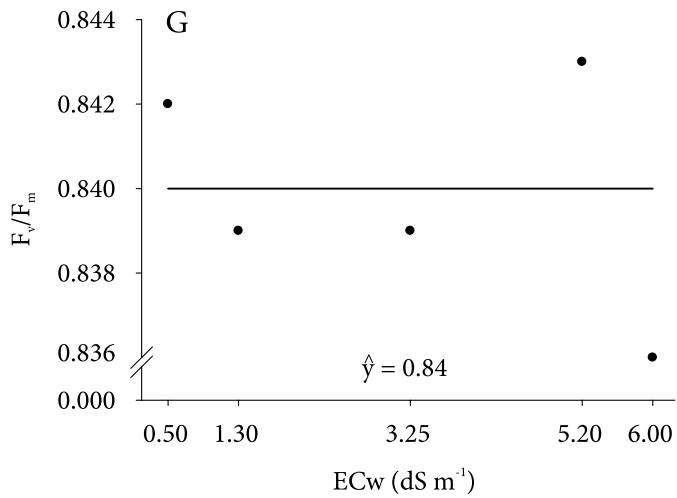
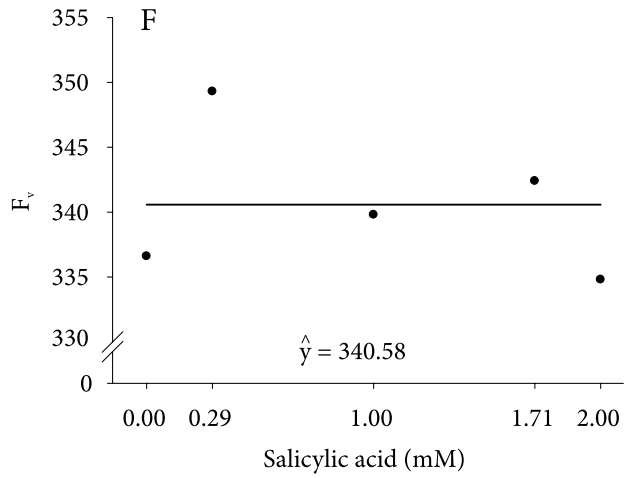
fluorescence (Figure 3). Chlorophyll fluorescence is a subtle reflection of the photosynthesis primary reactions. The relationship between fluorescence kinetics and photosynthesis is the key to understand photosynthetic biophysical processes (SHU *et al.*, 2013).

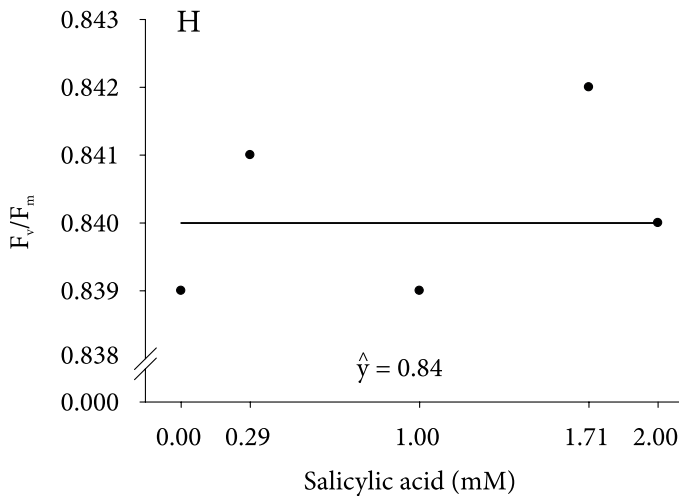
The  $F_0$ ,  $F_m$  and  $F_v$  presented linear decrease as the ECw increased. These fluorescence parameters presented unit decreases of 0.89, 1.06 and 1.09%, respectively. However, there was an increase in the  $F_0$  value under the electrical conductivity of 6.0 dS m<sup>-1</sup>. Increased  $F_0$  values associated with decreased  $F_m$  values may indicate the occurrence of damage in the PSII light-harvesting complex (MELO *et al.*, 2017). Regarding the  $F_v/F_m$  parameter, large oscillations were observed. It increased between the ECw of 1.3 and 5.2 dS m<sup>-1</sup>, and decreased in the following electrical conductivity (6 dS m<sup>-1</sup>). The reduction in the  $F_v/F_m$  ratio may be indicative of reduced PSII photochemical efficiency and photosynthetic apparatus damage. The  $F_v/F_m$  parameter is used to detect salinity stress disturbances in the photosynthetic system (AZEVEDO NETO *et al.*, 2011).











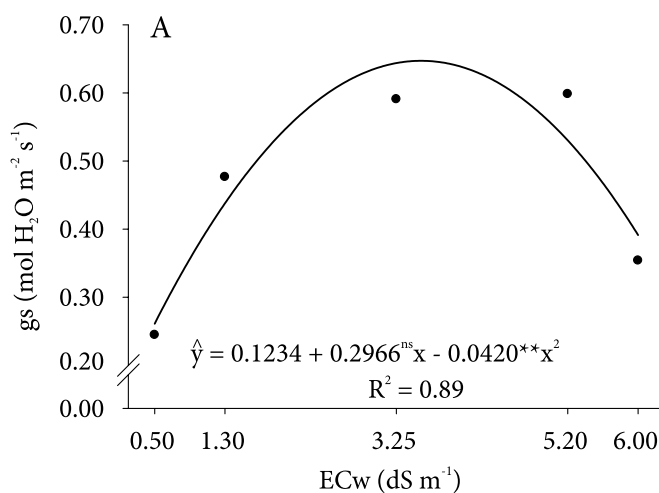
**Figure 3.** Effect of the irrigation water electrical conductivity and salicylic acid treatment on the initial fluorescence ( $F_0$  - A and B), maximum fluorescence ( $F_m$  - C and D), variable fluorescence ( $F_v$  - E and F) and quantum yield of PSII ( $F_v/F_m$  - G and H) of basil plants (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) at 36 days after the irrigation with saline water started. \*\*:  $P < 0.01$ .

The SA treatment showed no variation for this variable, however, for the others, as the SA molarity increased, the mean values decreased. In the absence of photorespiration, the photochemical quantum yield of PSII is directly related to the quantum yield of  $\text{CO}_2$  assimilation by the leaves, allowing, under certain conditions, the application of fluorescence measurements to provide a rapid and non-destructive calculation of  $\text{CO}_2$  assimilation (BAKER, 2008).

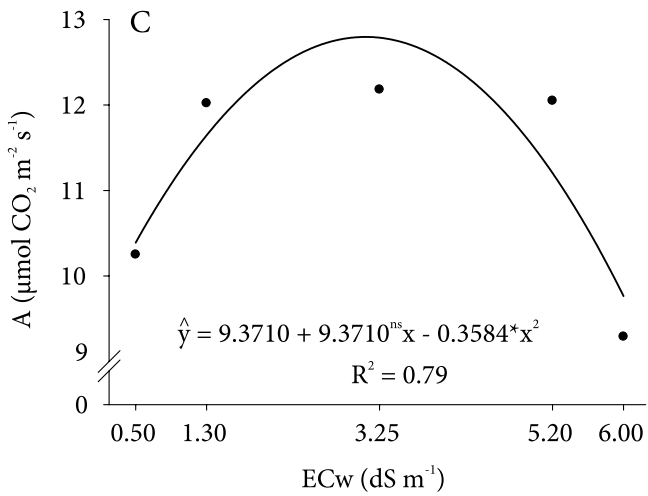
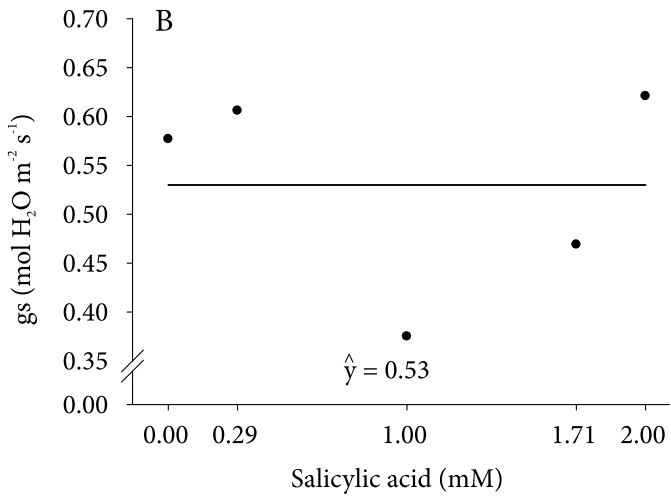
Photosynthesis inhibition is one of the physiological and biochemical disorders verified in salt-stressed plants (TAIZ *et al.*, 2017). Reduced photosynthetic rates may lead to diminished production and under such stressful conditions some authors (TARCHOUNE *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2017) have found results that corroborate with those in the present study. According to these authors, this type of response results from stomatal closure, as well as lower  $\text{CO}_2$  assimilation and chlorophyll degradation, which are determining factors for photosynthesis activity.

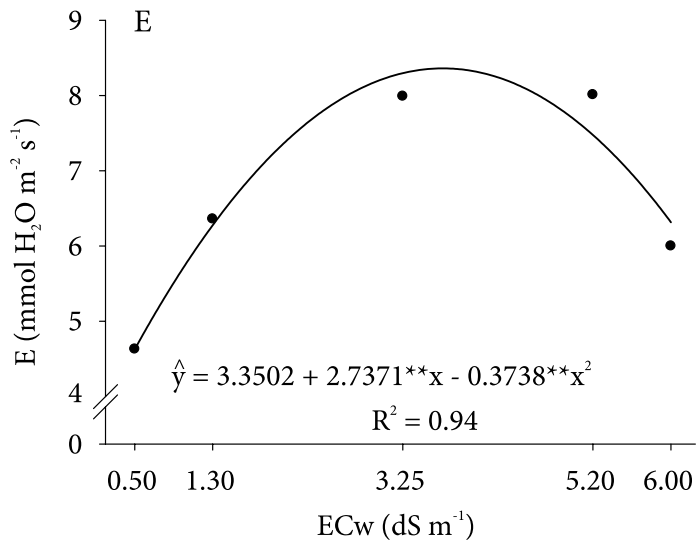
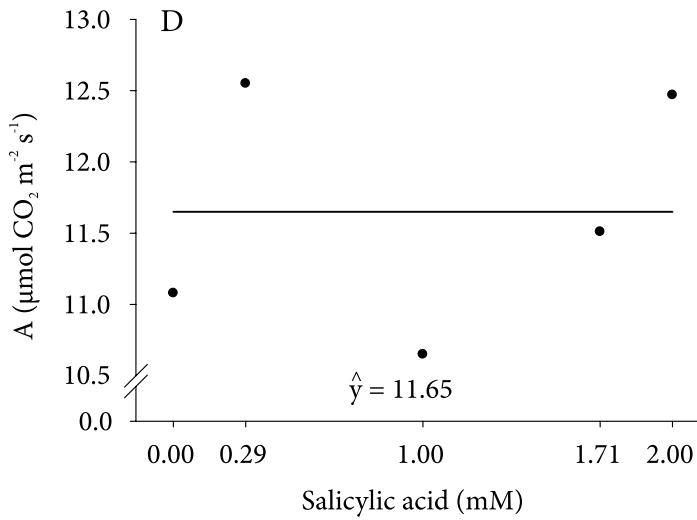
The gas exchange variables (gs, A and E) showed significant reduction as the salt concentration increased (Figure 4). The SA treatment did not present significant differences for these variables.

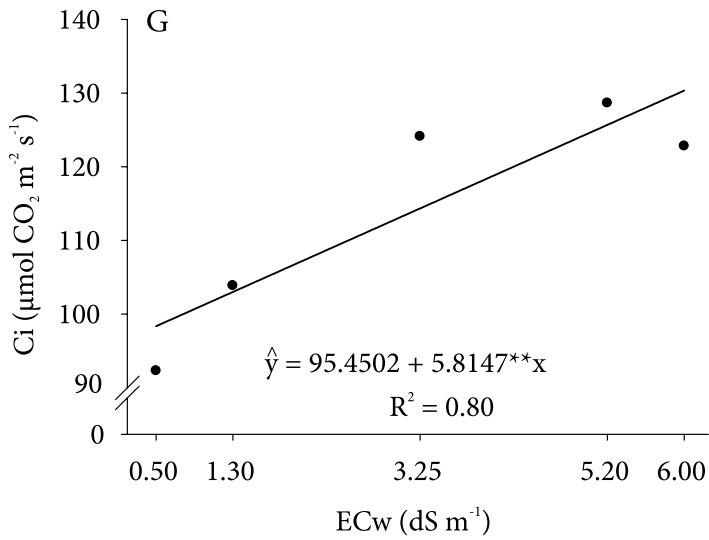
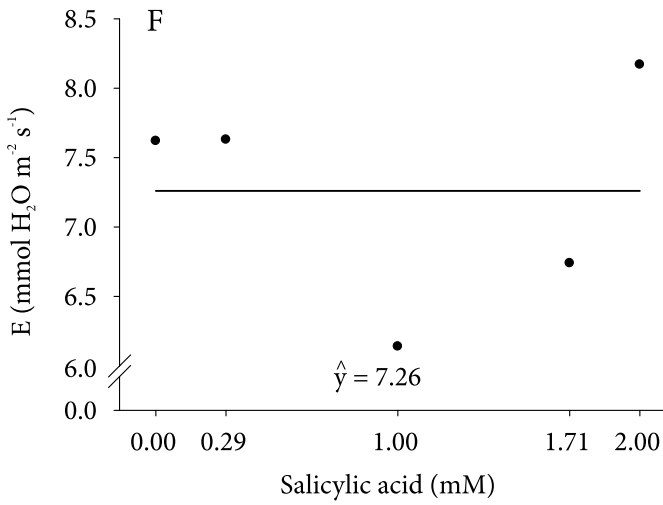
The above mentioned gas exchange variables were negatively affected up to the SA concentration of 1.0 mM. However, as the SA molarity increased, an increase in its mean values was observed. The stomatal conductance values increased until the ECw of 3.25 dS m<sup>-1</sup> and then decreased as the ECw increased. The net photosynthesis, transpiration rate and internal carbon dioxide concentration (A, E and Ci), increased up to the ECw of 5.2 dS m<sup>-1</sup>. This behavior can be characterized as an acclimation response of the plant to the stress condition. These reductions in the gas rates corroborate with results found by Neves et al. (2009). When studying the effect of salinity in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.), these authors verified that continuous application of saline water with ECw of 5 dS m<sup>-1</sup> had a negative effect on the plants net photosynthesis, transpiration rates and, especially, in the stomatal conductance.

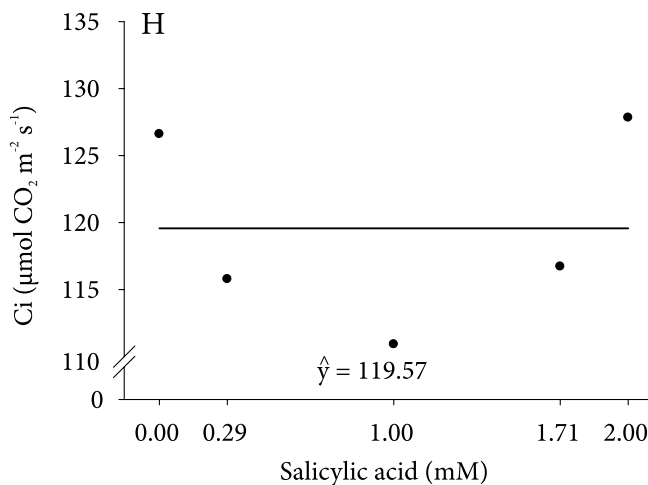












**Figure 4.** Effect of the irrigation water electrical conductivity and salicylic acid treatment on the stomatal conductance (gs - A and B), net photosynthesis (A - C and D), transpiration rate (E - E and F) and internal carbon dioxide concentration (Ci - G and H) of basil plants (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamom) at 30 days after the irrigation with saline water started. \*, \*\*, ns: P <0.05, P <0.01, P 0.05, respectively.

The oscillation in the photosynthetic rate is closely related to the stomatal conductance, and can be attributed to oscillation in this variable. In Fig. 4, it can be observed that moderate salinity levels (until 5.2 dS m<sup>-1</sup>) did not affect stomatal opening. However, increased salinity levels caused stomatal conductance reduction, and consequently damaged photosynthetic machinery. This results in CO<sub>2</sub> absorption regulation, the main gas used during photosynthesis (ENDRES *et al.*, 2010; FEITOSA *et al.*, 2016).

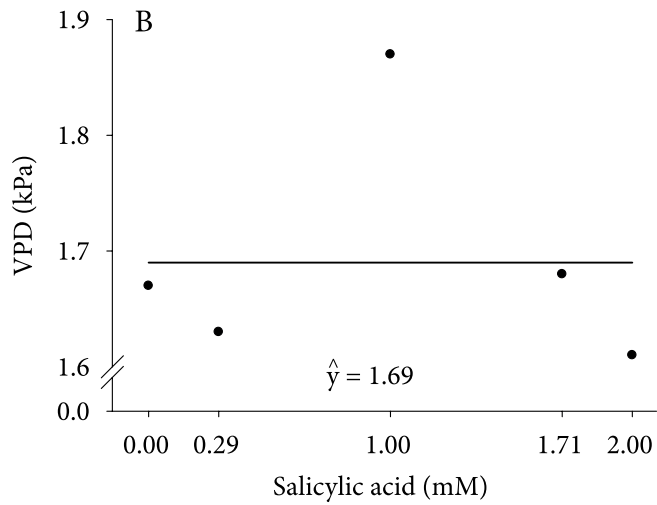
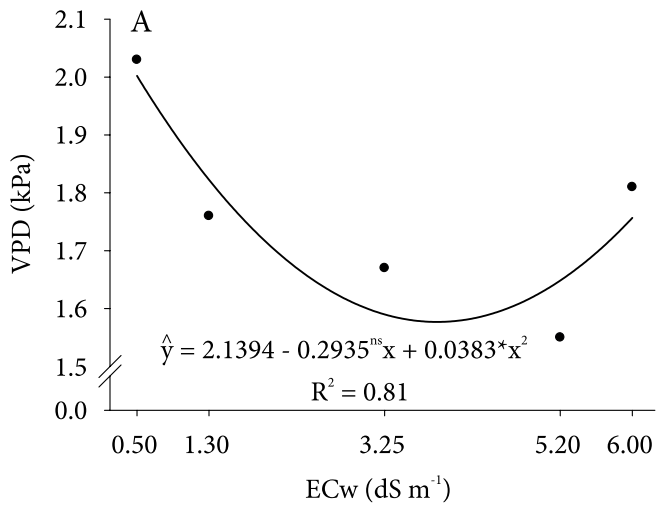
Transpiration is the process in which the plant loses water to the environment, besides being a component of the energy balance that determines leaf temperature (TRENTIN *et al.*, 2011). High salts concentration in the soil solution or in the irrigation water, compromises the transpiration process due to the osmotic effect caused by salinity (TAIZ *et al.*, 2017). Therefore, plants reduce its transpiration as a protective mechanism, in order to escape this stress condition, thus

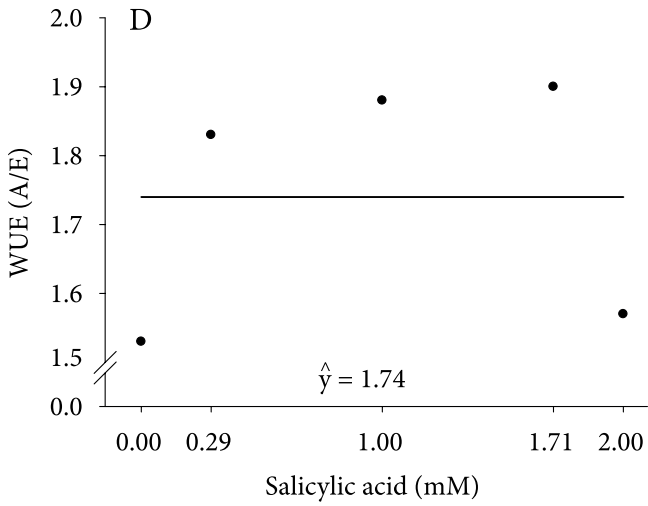
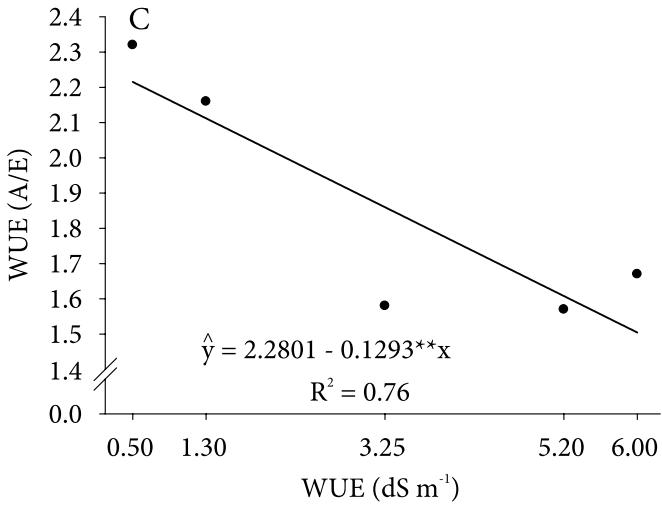
avoiding water loss through stomata (ASSIS JÚNIOR *et al.*, 2007). As a picture of this variation, a direct relation between the photosynthetic rate and the stomatal conductance is observed (NOBRE *et al.*, 2010).

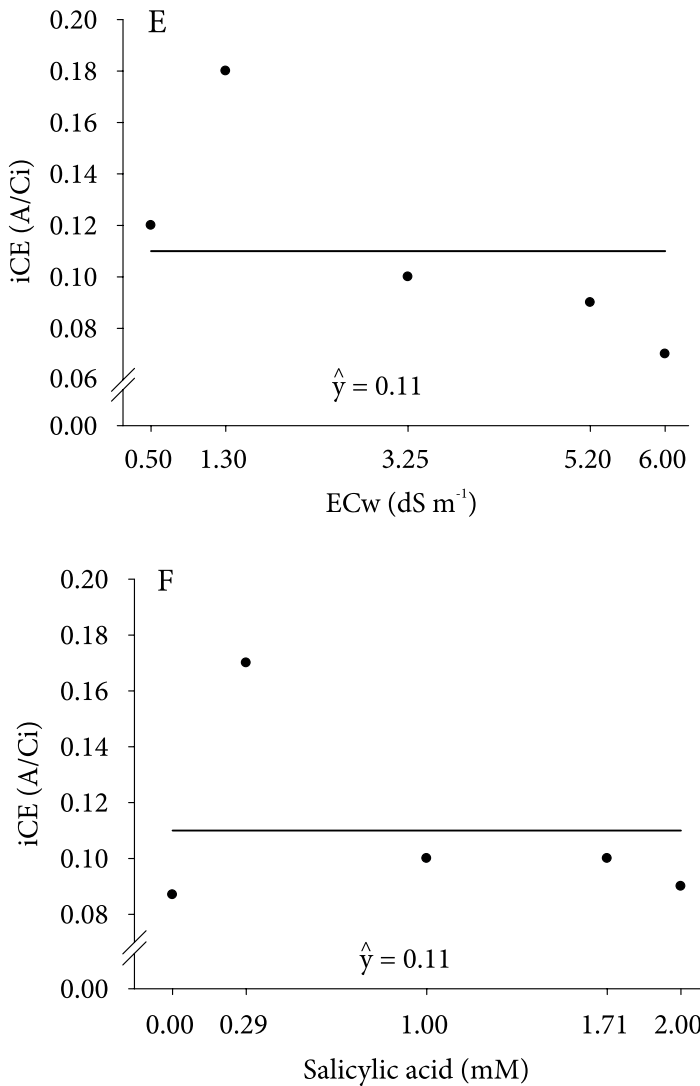
The vapor pressure deficit (VPD), water use efficiency (WUE) and intrinsic carboxylation efficiency (iCE) values are shown in Figure 5. It was observed that the first two variables differed statistically for the EC<sub>w</sub> treatments. There were no significant differences for the SA treatment.

The VPD values decreased up to the EC<sub>w</sub> of 5.2 dS m<sup>-1</sup>, and increased in the subsequent electrical conductivities, whereas the WUE decreased up to 3.25 dS m<sup>-1</sup>, and then increased. Regarding the iCE, it was observed an increase between 0.5 and 1.3 dS m<sup>-1</sup>, decreasing afterwards. The same behavior was observed for this variable in the SA treatment. The VPD values, under SA treatment, increased up to the concentration of 1.0 mM, while the WUE started to decrease from 1.71 mM on.

The water use efficiency is obtained through the relationship between CO<sub>2</sub> assimilation rates and transpiration rates. The lower efficiency observed can be explained by the defense mechanism activation, through stomatal closure, which decreases stomatal conductance and, consequently, transpiration rates, leading to decreased water use efficiency (TAIZ *et al.*, 2017). The vapor pressure deficit is an important environmental factor that contributes to the study of plant stress physiology (TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2011). This behavior can be attributed to the stomatal opening regulation which makes it difficult to lose water by transpiration. Thus, when the stomatal conductance rates are lower, the higher the vapor pressure deficit rates.







**Figure 5.** Effect of the irrigation water electrical conductivity and salicylic acid treatment on the vapor pressure deficit (VPD - A and B), water use efficiency (QUE - C and D) and intrinsic carboxylation efficiency (iCE - E and F) of basil plants (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamom) at 30 days after the irrigation with saline water started. \*, \*\*, ns: P <0.05, P <0.01, P 0.05, respectively.



## 4 CONCLUSIONS

Basil plants growth (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamom) was negatively affected by increased salinity in the irrigation water. The irrigation water electrical conductivity up to 5.2 dS m<sup>-1</sup> favors the chlorophyll a, b and total indexes, the quantum yield of the PSII, stomatal conductance, transpiration rates and internal carbon concentration. The salicylic acid treatment up to the concentration of 1.71 mM favored the number of leaves, leaf area, chlorophyll a, b and total indexes and water use efficiency. Plant height, stomatal conductance, liquid photosynthesis, transpiration and concentration. Plant height, stomatal conductance, net photosynthesis, transpiration and internal carbon dioxide concentration are favored by increases in the salicylic acid concentration between 1.0 and 2.0 mM.

## CAPÍTULO VII

# ECHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF *Ocimum basilicum* UNDER SALINE STRESS AND SALICYLIC ACID

## 1 INTRODUCTION

Basil (*Ocimum basilicum* L.) is an aromatic and medicinal plant cultivated commercially around the world (JAKOVLJEVIĆ *et al.*, 2017). The basil essential oil, which is extracted mainly from the leaves, is rich in linalool, substance widely used in the pharmaceutical, chemical, cosmetic and flavoring industries. Basil is cultivated in several regions where salinity stress is common (TARCHOUNE *et al.*, 2012).

Salinity is one of the major factors limiting plant growth and development. It is estimated that more than 900 million hectares of the world's arable land are affected by salinity (MANCARELLA *et al.*, 2016). Salinity is caused mostly by weathering processes on rocks, irrigation with high soluble ions concentration water, and fertilizer applications. The latter two are of greater concern in modern agriculture.

Salinity affects many crops, especially those grown in water scarce regions, as in the northeastern region of Brazil. Saline stress can affect plants in many ways, often limiting their growth and yield, as well as damaging photosynthetic processes, mineral composition and nutrient's absorption, leading up to imbalanced nutrition or ionic toxicity (BEKHRADI *et al.*, 2015).

Taking into account the harmful implications of soil salinity to plants, there has been a great interest in developing strategies to minimize the damage caused by this stress condition. The use of salicylic acid, among others acids, is one of those strategies. Salicylic acid plays an important role in abiotic stress tolerance, increasing tolerance to oxidative

stress and minimizing osmotic stress. It also influences fruit productivity, gas exchange, water composition and resistance development to plant diseases. However, the salicylic acid effect will depend on genetic and environmental factors, as well as the application method and dosage (EL-ESAWI *et al.*, 2017).

Several studies have investigated the salicylic acid effect on salt stressed basil plants (PARIZI *et al.*, 2011; SHEKOOFEH *et al.*, 2012; MOHAMMADZADEH *et al.*, 2013; ANGOOTI; NOURAFKAN; 2015). However, information using confidence bands are scarce. The aim of this study was to evaluate the salicylic acid effect on the physiology of basil (*Ocimum basilicum* L. cv. Cinnamon) submitted to salinity stress, in two different evaluation periods, using confidence bands.

## 2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in a greenhouse at the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Paraíba, located in the city of Areia, Paraíba, Brazil (6° 51 '47 "S, 35° 34'13"; 575 m). The soil used was classified as Planosol (EMBRAPA, 2014), sandy-loam texture, with the following physical characteristics: sand (g kg<sup>-1</sup>): 756.9; silt (g kg<sup>-1</sup>): 59.1; clay (g kg<sup>-1</sup>): 184.0; bulk density (kg dm<sup>-3</sup>): 1.38; particle density (kg dm<sup>-3</sup>): 2.67; total porosity (%): 48; field capacity (g kg<sup>-1</sup>): 78; permanent wilting point (g kg<sup>-1</sup>): 43.

The basil seeds (*Ocimum basilicum* L. cv. Cinnamon) were provided by the Federal University of Sergipe. Basil seeds were sown in polyethylene trays containing 162 cells with commercial organic compound as substrate (1:1 v/v). Twenty-five days after sowing (DAS) the seedlings were transplanted to soil containing pots, previously moistened to their field capacity. The experimental units were composed of polyethylene pots with volume capacity of 5 dm<sup>3</sup> filled with soil and 100 g of poultry manure. A sample of the soil and manure mixture was collected for fertility analysis. Table 1 presents some of the sample characteristics.

**Table 1.** Chemical analysis of the substrate

pH	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CEC	V	OM
	....mg dm <sup>3</sup> ...			.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> .....						%	g dm <sup>-3</sup>
6.9	11.71	87.43	0.24	1.60	0.00	4.65	0.39	7.52	9.12	82.45	22.73

**Table 2.** Chemical analysis of salt water used for irrigation

pH	ECw <sup>a</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SAR <sup>b</sup>	ESP <sup>c</sup>	Classification	
	dS m <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	.....mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> .....											
7.7	0.50	3.13	0.26	2.28	2.01	1.08	0.93	0.00	2.67	4.17	2.27	2.05	Normal	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>
7.6	1.30	3.66	0.19	9.37	1.83	0.98	0.85	0.00	2.50	12.50	9.79	11.65	Saline	C <sub>3</sub> S <sub>3</sub>
7.9	3.25	4.22	0.22	25.44	1.93	0.86	1.07	0.00	2.50	32.83	25.90	26.98	S. sodic	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>
6.3	5.20	4.26	0.20	40.62	1.99	0.84	1.15	0.00	2.83	54.00	40.72	37.03	S. sodic	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>
7.8	6.00	4.60	0.20	49.56	2.00	0.90	1.10	0.00	2.67	63.83	49.56	41.81	S. sodic	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>

<sup>a</sup>ECw = Electrical conductivities of irrigation water; <sup>b</sup>SAR = Sodium adsorption ratio; <sup>c</sup>ESP = Exchangeable sodium percentage

Irrigation was performed by drainage lysimeter as needed. The water with the desired electrical conductivities (ECw) were prepared weekly. The following salts: NaCl, CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O and MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (7:2:1, respectively) were added on water (0,5 dS m<sup>-1</sup>) and stored in buckets with a capacity of 60 dm<sup>3</sup> (MEDEIROS, 1992). Salicylic acid (SA) solutions were prepared using distilled water and 0.05% of Tween 80, a nonionic surfactant for better absorption effect. The control treatment was prepared with distilled water and Tween 80. The basil plants were sprayed weekly with the above described solutions until they were completely wet, during twenty-one days. The water salinity analysis is presented below (Table 2).

The evaluations were performed at 30 and 60 days after the irrigation with saline water started (DAI). The gas exchanges were measured with an open-system infrared gas analyzer (IRGA: LI-6400xt, LI-COR®, Nebraska, USA) during the morning, between 9 and 10 o'clock. The variables measured were: net photosynthesis rate (A) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), stomatal conductance (gs) (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), internal carbon dioxide concentration (Ci) (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) transpiration rate (E) (mmol H<sub>2</sub>O

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), vapor pressure deficit (VPD), water use efficiency (WUE – A/E), instantaneous water use efficiency (iWUE = A/gs) intrinsic carboxylation efficiency (EiC = A/Ci).

Chlorophyll fluorescence measurements were obtained by a modulated fluorometer (Sciences Inc. - Model OS-30p, Hudson, USA). Foliar tweezers were placed and after a period of 30 minutes of dark adaptation the fluorescence parameters were measured. The initial fluorescence ( $F_0$ ), maximum fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v = F_m - F_0$ ) and maximum quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ) were measured. Chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll levels were determined by a non-destructive method using a portable Chlorophyll Meter (ClorofiLOG®, model CFL 1030, Porto Alegre, RS) and expressed as the Falker chlorophyll index (FCI).

A randomized complete block design was used with five irrigation water electrical conductivities (ECw - 0.5, 1.3, 3.25, 5.2 and 6.0  $\text{dS m}^{-1}$ ) and five doses of salicylic acid (SA - 0, 0.29, 1.0, 1.71 and 2.0 mM), with five replicates. The incomplete factorial scheme was used, generated nine combinations through of the Box Central Composite matrix (Table 3).

**Table 3.** Combinations (treatments) generated through the Box Central Composite matrix

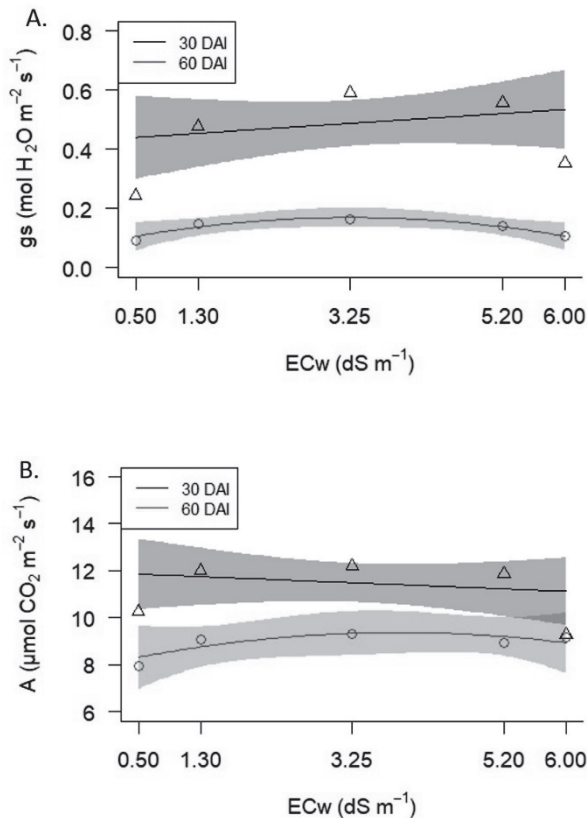
Levels		Doses	
ECw	SA	ECw	SA
-1	-1	1.30	0.29
-1	1	1.30	1.71
1	-1	5.20	0.29
1	1	5.20	1.71
- $\alpha$	0	0.50	1.00
$\alpha$	0	6.00	1.00
0	$\alpha$	3.25	2.00
0	- $\alpha$	3.25	0.00
0	0	3.25	1.00

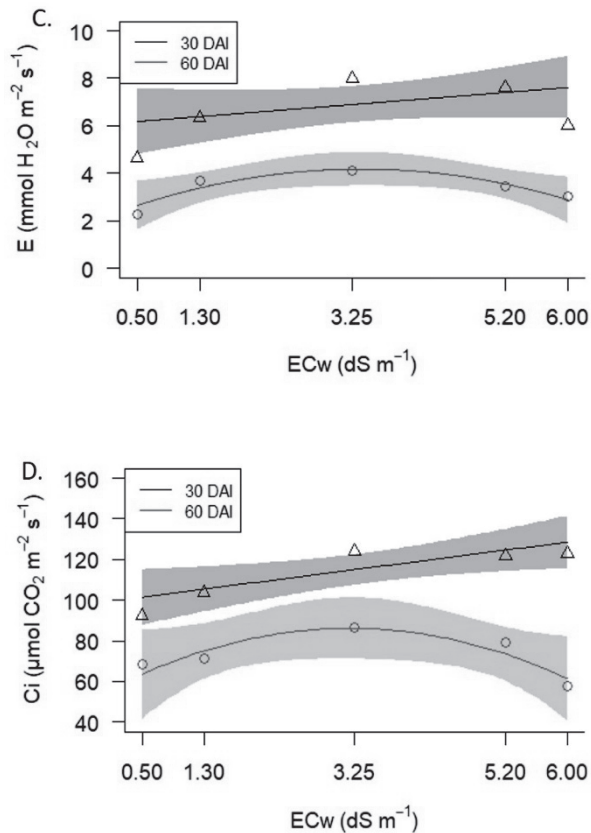
ECw = Electrical conductivities of irrigation water; SA = salicylic acid.

Irrigation was performed by drainage lisimetry as needed. For this, the pots with the plants were placed in other pots and water was added until the water began to drain. The drained water was quantified and then the difference between the amount of applied water and the drained was calculated and, thus, the amount of water to be applied was obtained. For this, four plants submitted to  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$  and  $0.0 \text{ mM}$  of SA were used as standards. Statistical analyzes were performed with their confidence interval to compare the two evaluation dates and correlation analysis between the variables using the statistical program R (R CORE TEAM, 2017).

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The irrigation water electric conductivity (EC<sub>w</sub>) affected the net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), internal carbon dioxide concentration (C<sub>i</sub>) and the transpiration rate (E) of basil plants at 30 and 60 days after the irrigation with saline water started (DAI) (Figure 1). It was observed that the net photosynthesis (A) showed significant difference up to the EC<sub>w</sub> of 5.2 dS m<sup>-1</sup>. The mean values obtained when EC<sub>w</sub> was superior to 5.2 dS m<sup>-1</sup>, were very close in both evaluation dates, 30 and 60 DAI. This observation might be a response to the high salts concentrations in the plants root zone.





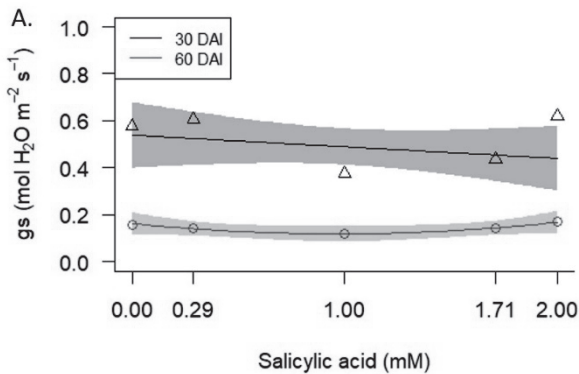
**Figure 1.** Stomatal conductance (gs - A), net photosynthesis (A - B), transpiration (E - C) and internal carbon concentration (Ci - D) of basil plants submitted to saline stress (ECw) at 30 and 60 days after the beginning of irrigation with saline water (DAI).

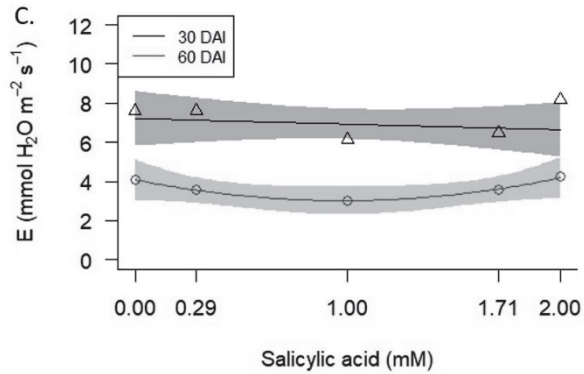
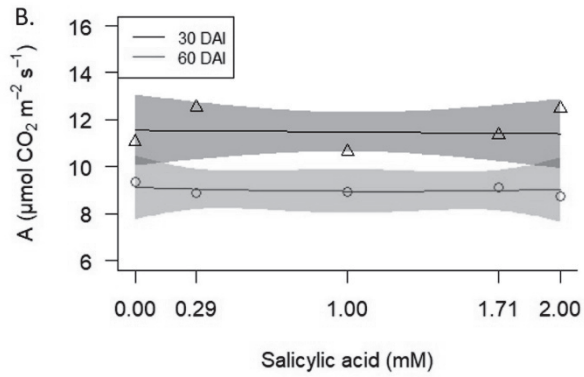
The stomatal conductance (gs), internal carbon dioxide concentration (Ci) and transpiration rate (E) presented differences for all the ECw values in both evaluation periods. In both evaluation periods, the mean values of the above mentioned variables increased up to the ECw of 3.25 dS m<sup>-1</sup>, and then started to drop. The increase in salinity reduces stomatal conductance and intercellular CO<sub>2</sub> pressure, affecting CO<sub>2</sub> assimilation. Plants under saline stress close their stomata

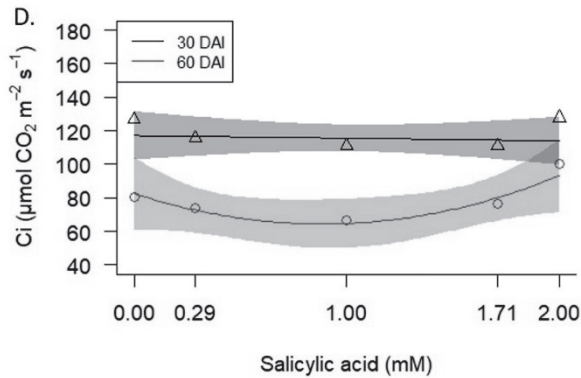


as an acclimation response mechanism, which causes reduction in the leaf transpiration, attenuating the salts toxic effect (Bosco *et al.*, 2009). Regarding the salicylic acid treatment, differences were also observed, as presented in Figure 2.

For net photosynthesis, it was observed that the SA molarities values of 0.0 and 2.0 mM showed no significant differences during both evaluation periods. However, there were significant differences for the intermediate SA molarities (0.29, 1.0 and 1.71 mM) (Figure 2). The same pattern was observed for the internal carbon dioxide concentration ( $C_i$ ) values. The stomatal conductance ( $g_s$ ) presented differences for all the SA molarities tested. The transpiration rate ( $E$ ) also presented differences for all the SA molarities tested, in both evaluated periods. Salinity immediately affects plants stomatal conductance and consequently causes disturbances in water relations and decrease in abscisic acid (ABA) synthesis. Salt stressed plants also have a decrease in their photosynthetic rate (MUNNS; TESTER, 2008).

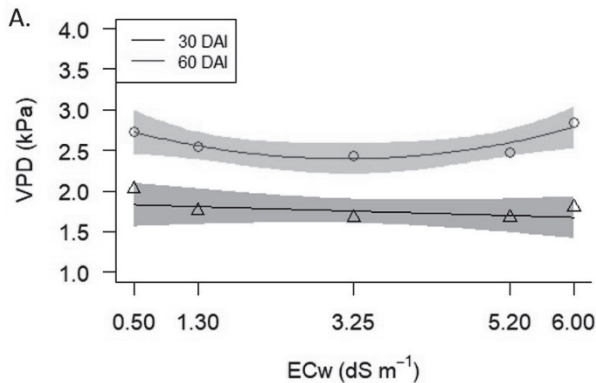


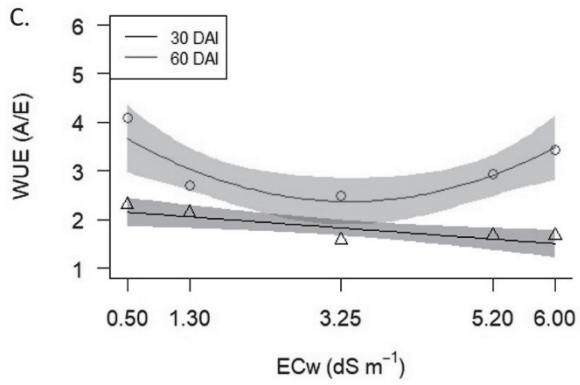
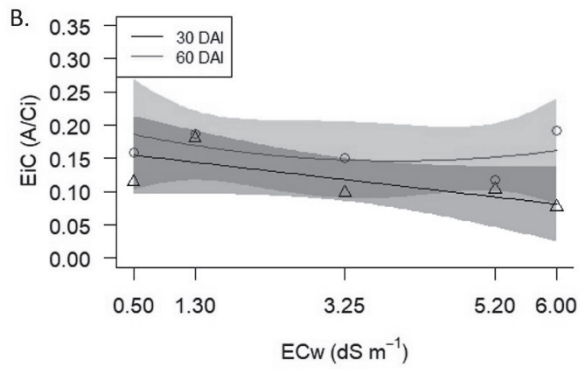


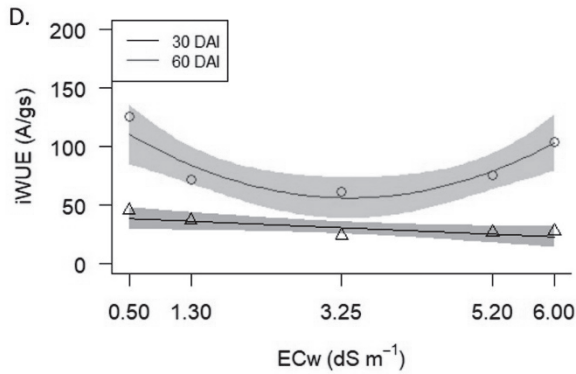


**Figure 2.** Stomatal conductance ( $g_s$  - A), net photosynthesis (A - B), transpiration (E - C) and internal carbon concentration ( $C_i$  - D) of basil plants submitted to salicylic acid at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation (DAI).

The vapor pressure deficit (VPD), water use efficiency (WUE), and instantaneous water use efficiency (iWUE) showed differences in both assessment periods. However, the intrinsic carboxylation efficiency (EiC) did not present any differences, as can be observed in Figure 3.

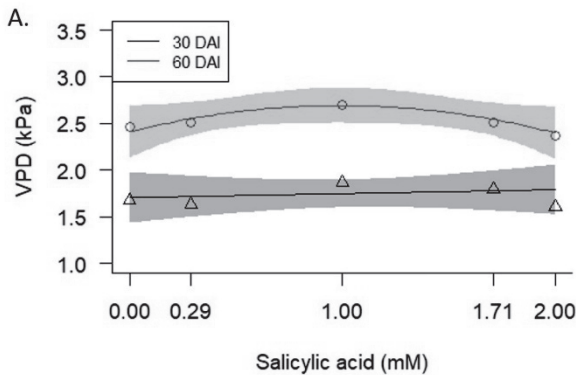


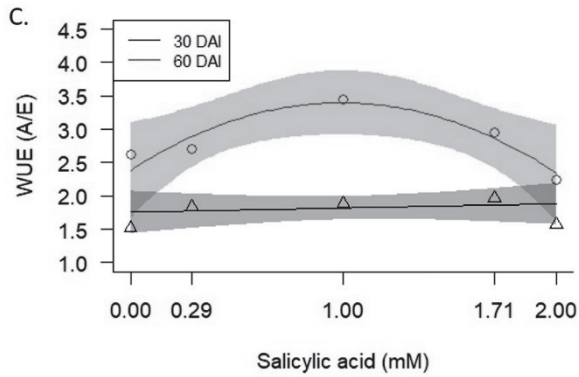
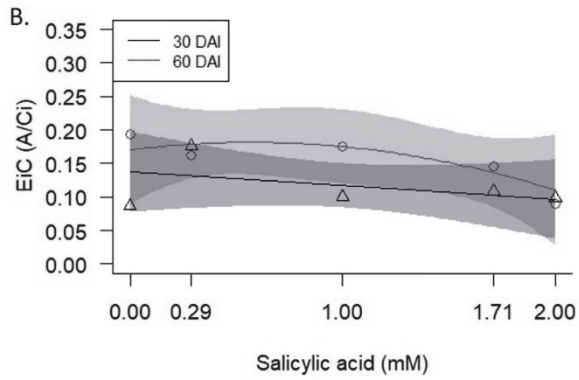


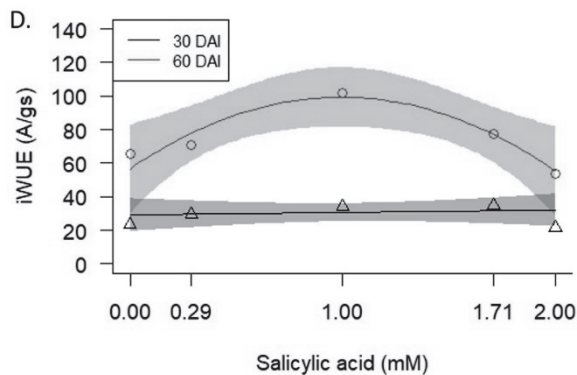


**Figure 3.** Vapor pressure deficit (VPD - A), intrinsic carboxylation efficiency (EiC - B), water use efficiency (WUE - C) instantaneous water use efficiency (iWUE - D) of basil plants submitted to saline stress (ECw) at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation (DAI).

The VPD and iWUE presented differences in all ECw tested while WUE did not show any difference only for the ECw of 3.25 dS m<sup>-1</sup>. It was observed that the biggest variation occurred at 60 DAI, and the mean values at 30 DAI remained without large oscillations. Regarding the SA treatment, differences in variables followed similar behavior to that occurred for ECw (Figure 4).







**Figure 4.** Vapor pressure deficit (VPD - A), intrinsic carboxylation efficiency (EiC - B), water use efficiency (WUE - C) instant water use efficiency (iWUE - D) of basil plants submitted to salicylic acid at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation (DAI).

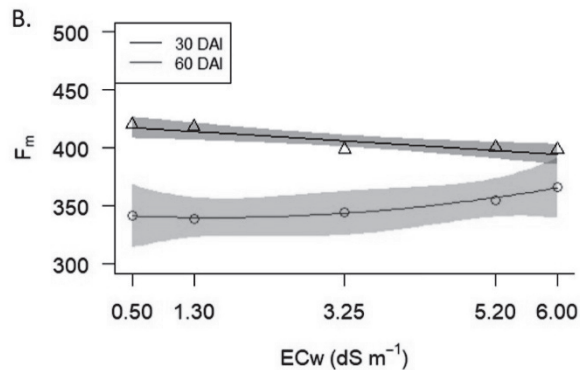
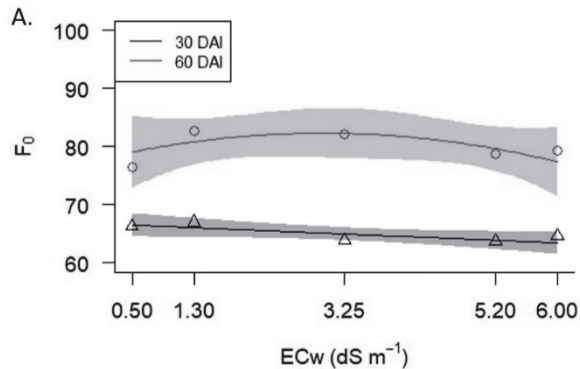
No differences were observed for WUE and iWUE when the basil plants were treated with 0.0 and 2.0 mM of salicylic acid. However, differences were observed for intermediate molarities. Regarding the EiC, no differences were observed for any salicylic acid molarities tested, while VPD presented differences for all salicylic acid molarities tested. At 60 DAI, it was noted that VPD, WUE and iWUE values increased up to the salicylic acid molarity of 1 mM. From 1 mM of salicylic acid on, its mean values started to decrease. This behavior might be related to the fact that salicylic acid concentrations higher than 1.0 mM can be toxic to basil plants. The exogenous application of SA can increase A, Ci, WUE, gs and E in some species such as *Brassica juncea*, *Zea mays* and *Glycine max* (HAYAT *et al.*, 2010).

Basil plants submitted to different ECw had its initial fluorescence ( $F_0$ ), maximum fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v$ ) and maximum quantum yield of PSII ( $F_v/F_m$ ) influenced, at 30 and 60 DAI (Figure 5).

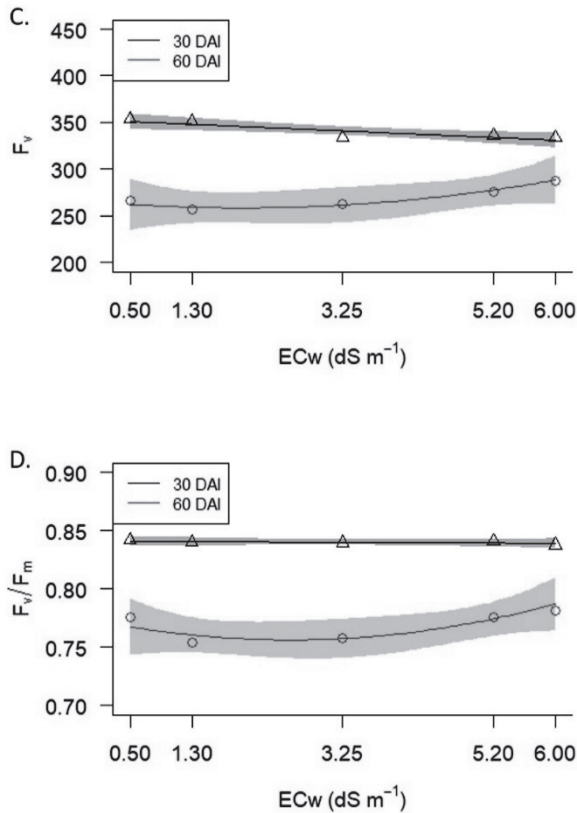
Differences were observed for  $F_0$ ,  $F_v$  and  $F_v/F_m$  in all ECw tested and for both assessment periods, while  $F_m$  did not show any difference when submitted to the ECw of 6,0 dS m<sup>-1</sup>. At 60 DAI, it was observed that as the ECw increased, there was also an increase in the  $F_m$ ,  $F_v$  and

$F_m/F_v$  variables. At 30 DAI, no large mean variations were observed as the ECw increased, for all above mentioned variables.

Photosystem II (PSII) is relatively sensitive to salt stress. The reduction in photosynthetic rates of plants submitted to saline stress is associated with several factors, such as: cell membrane dehydration, salt toxicity, increased senescence, increased enzymatic activity due to altered cytoplasmic structure, among others (PARIHAR *et al.*, 2014).

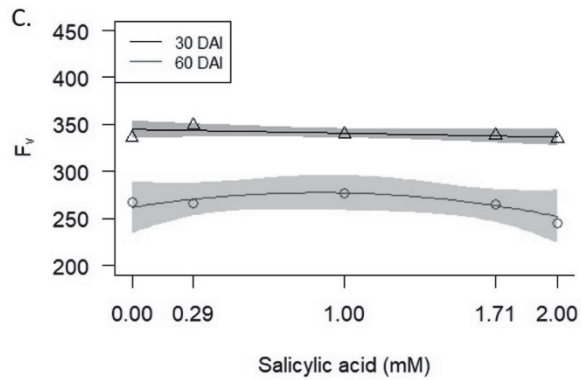
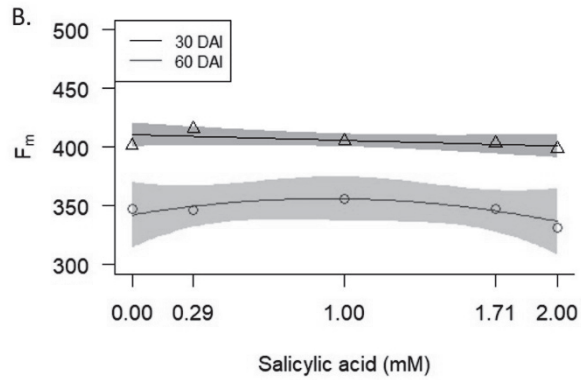
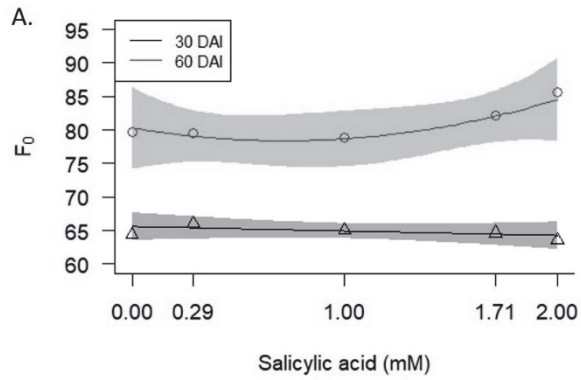


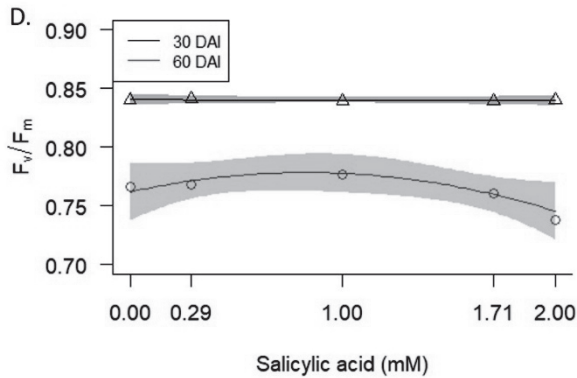




**Figure 5.** Fluorescence initial ( $F_0$  - A), maximum fluorescence ( $F_m$  - B), variable fluorescence ( $F_v$  - C) and maximum quantum yield of PSII ( $F_v/F_m$  - D) of basil plants submitted to saline stress (ECw) at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation.

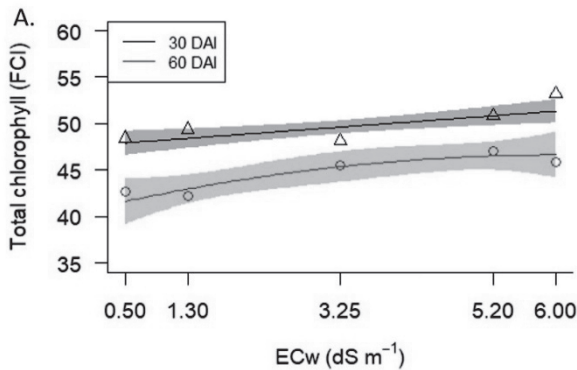
The SA treatment influenced the  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  and  $F_v/F_m$  of basil plants at 30 and 60 DAI (Figure 6). At 30 DAI, no large oscillations were observed as the SA concentration increased. At 60 DAI, it was observed that from the SA concentration of 1.0 mM on, there was a decrease in  $F_m$ ,  $F_v$  and  $F_v/F_m$  and an increase in  $F_0$ .

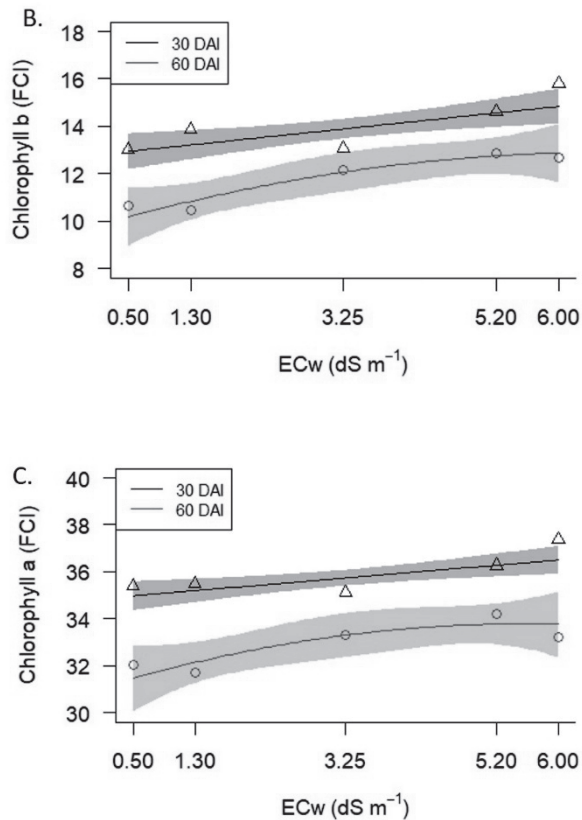




**Figure 6.** Fluorescence initial ( $F_0$  - A), maximum fluorescence ( $F_m$  - B), variable fluorescence ( $F_v$  - C) and maximum quantum yield of PSII ( $F_v/F_m$  - D) of basil plants subjected to salicylic acid at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation (DAI).

As the EC<sub>w</sub> values increased, chlorophyll a, b and total, presented differences, at 30 and 60 DAI, as can be seen in Figure 7. The reduction in chlorophyll content of plants submitted to saline stress can be attributed to the degradation of the photosynthetic pigments and the instability of the protein complex, in addition to interference in the protein synthesis and in the structure of the chlorophyll components (HUSSEIN *et al.*, 2012).

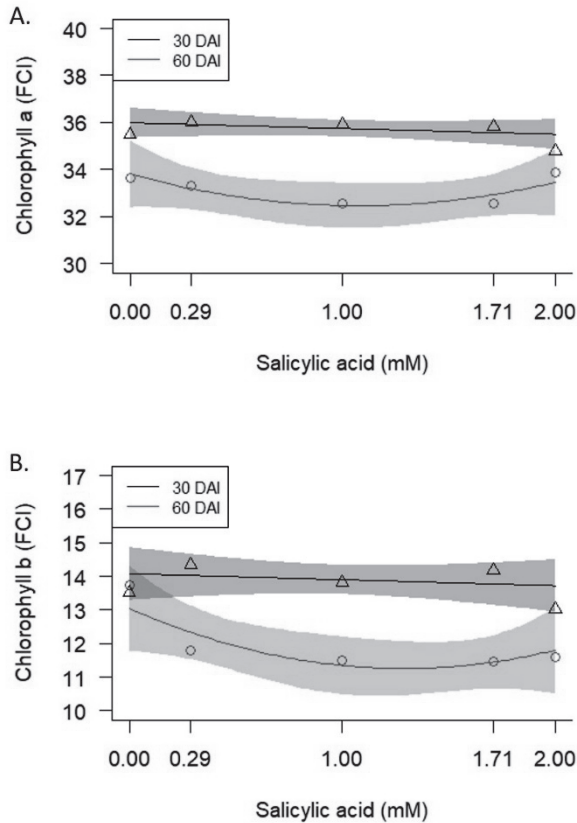


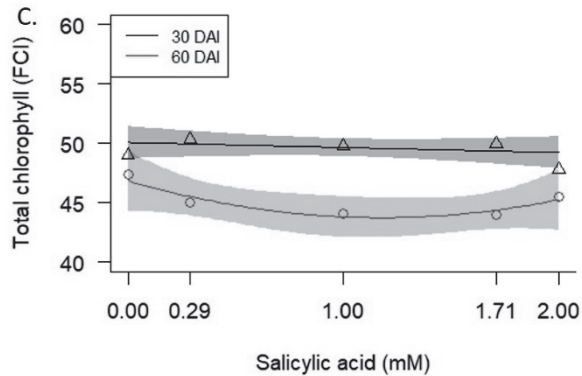


**Figure 7.** Chlorophyll a (A), chlorophyll b (B) and total chlorophyll (C) of basil plants submitted to saline stress (ECw) at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation.

At 30 DAI, it was observed that as the ECW values increased, there was an increase in chlorophylls a, b and total. However, at 60 DAI, there was an increase in these variables until the ECw of 5.2 dS m<sup>-1</sup> and above that value there was a decrease. This behavior might be related to the higher accumulation of toxic ions (mainly Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>) in the root zone, which may have damaged the photosynthetic apparatus. Bagherifard et al. (2015) verified that artichoke plants (*Cynara scolymus* L.) submitted to saline stress and SA treatment had its chlorophyll content reduced.

Regarding the SA treatment, there were differences for a, b and total chlorophylls in both assessment periods, as can be observed on Figure 8. El-Esawi *et al.* (2017) verified that the SA treatment on salt-stressed rosemary plants (*Rosmarinus officinalis* L.) mitigated the toxic effect on chlorophyll content.

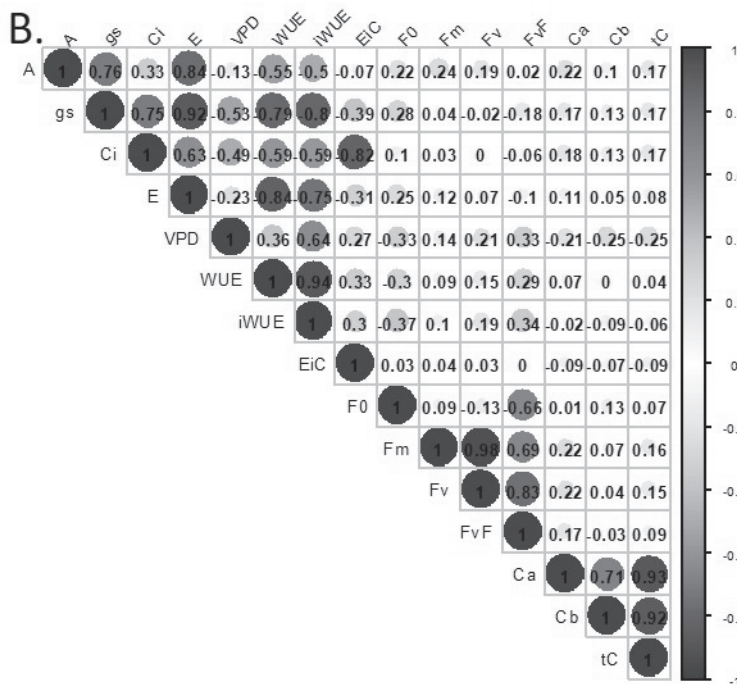




**Figure 8.** Chlorophyll a (A), chlorophyll b (B) and total chlorophyll (C) of basil plants submitted to salicylic acid at 30 and 60 days after the beginning of day after irrigation.

At 30 DAI, chlorophylls b and total increased up to the SA molarity of 1.71 mM, and had a decrease in the molarity of 2.0 mM. At 60 DAI, chlorophyll a decreased up to 1.71 mM of SA. Chlorophylls b and total showed no differences under the SA molarities of 0.0 and 2.0 mM, while chlorophyll a presented difference for all tested SA molarities. Karlidag *et al.* (2009) verified that salt-stressed strawberry plants (*Fragaria chiloensis*) had its chlorophyll content affected and that the SA treatment attenuated this effect. Correlations of the above-mentioned variables with EC<sub>w</sub> and SA at 30 and 60 DAI were realized (Figure 9).





**Figure 9.** Correlation among gas exchanges (A, gs, Ci, E, VPD, EiC, WUE and iWUE) (A), fluorescence and chlorophyll indices (F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub>, F<sub>v</sub> and F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>, Ca, Cb and tC) at 30 (A) and 60 (B) days after irrigation (DAI).

There was a positive correlation between A and gs (0.68) and E (0.72), between gs and E (0.76) and Ci (0.70), between iWUE and WUE (0.73), EiC (0.69) and VPD (0.68). The highest negative correlation occurred between iWUE and Ci (0.98). There was a positive correlation between chlorophyll a, b and total – being the correlation between the last two the largest (0.96). There was also a positive correlation between F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub> and F<sub>v</sub> – being the correlation between F<sub>v</sub> and F<sub>m</sub> the largest (0.99). Melo *et al.* (2017) when studying giant saltbush plants (*Atriplex nummularia*) under saline and water stress, emphasized that, generally, the decrease in the quantum yield of PSII can be associated to chlorophyll degradation, mainly chlorophyll a.



When subjected to saline stress, plants can significantly decrease their photosynthetic process, which may be related to the enzymes activity disorganization as well as the reduction of CO<sub>2</sub> partial pressure within leaves, as a consequence of stomata closing. Further, saline stress damage photosystems activities, as a consequence of the laminar system disorganization and chloroplasts integrity loss (Bybordi, 2012).

At 60 DAI, the VPD presented a positive correlation with WUE (0.36), EiC (0.27) and iWUE (0.64). Also, gs presented positive correlation with A (0.76), Ci (0.75) and E (0.92), showing negative correlation with VPD (0.53), EiC (0.39), WUE (0, 79) and iWUE (0.80). When analyzing the correlation between the chlorophyll content variables, it was observed that the highest positive correlation was obtained between F<sub>m</sub> and F<sub>v</sub> (0.98) and the negative between F<sub>0</sub> and F<sub>v</sub> (0.66). In accordance to Mancarela *et al.* (2016), by measuring the chlorophyll fluorescence it is possible to diagnose the state in which the plant is located, besides obtaining information for a clarification of a cause and effect relationship between the mechanisms controlling the water balance and plant growth.

## 4 CONCLUSIONS

The greatest effect of electrical conductivity of irrigation water in the physiology of basil plants (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) was observed at 60 days after irrigation with saline water (DAI). At 60 DAI, salicylic acid treatment mitigated the saline stress effects, for most of the analyzed variables up to the dose of 1.0 mM, while at 30 DAI, salicylic acid treatment showed low activity.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, E. A. T.; MACHADO-NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Induction of water deficit tolerance by cold shock and salicylic acid during germination in the common bean. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p. 209-219, 2013.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; DE SIQUEIRA, D. L.; RODRIGUÊS, D. E.; SASAKI, S.; RINALDI, P. C. N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 182-193, 2014.
- ALVES, L. S.; PAZ, V. P. S.; SILVA, A. J. P.; OLIVEIRA, G. X. S.; OLIVEIRA, F. E. R.; AMORIM, E. L. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjerição submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, supl.1, 2015.
- ANGOOTI, F.; NOURAFKAN, H. Effects of application method and level of salicylic acid on some morphological characteristics of *Ocimum basilicum* L. leaves under sodium chloride salinity stress. **Biological Forum**, v. 1, p. 346-351, 2015.
- ARFAN, M.; ATHAR, H. R.; ASHRAF, M. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 6, p. 685-694, 2007.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; ARTECA, R. N.; FOOLAD, M. R. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 29, p. 162-190, 2010.
- ASSIS JÚNIOR, J. D.; LACERDA, C. D.; SILVA, F. D.; SILVA, F. D.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 702-713, 2007.
- ATTIA, H.; OUHIBI, C.; ELLILI, A.; MSILINI, N.; BOUZAÏEN, G.; KARRAY, N.; LACHAËL, M. Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 3, p. 823-833, 2011.
- BAGHERIFARD, A.; BAGHERI, A.; SABOURIFARD, H.; BAGHERIFARD, G.; NAJAR, M. The effect of salicylic acid on some morphological and biochemistry parameters under salt stress in herb artichoke (*Cynara scolymus* L.). **Research Journal of Fisheries and Hydrobiology**, v. 10, p. 745-750, 2015.
- BAHRANI, A.; POURREZA, J. Gibberlic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. **World Applied Sciences Journal**, v. 18, p. 633-641, 2012.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual**

**Review of Plant Biology**, v. 113, p. 59-89, 2008.

BARBIERI, G.; VALLONE, S.; ORSINI, F.; PARADISO, R.; DE PASCALE, S.; NEGRE-ZAKHAROV, F.; MAGGIO, A. Stomatal density and metabolic determinants mediate salt stress adaptation and water use efficiency in basil (*Ocimum basilicum* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 169, n. 17, p.1737-1746, 2012.

BATISTA-SÁNCHEZ, D.; NIETO-GARIBAY, A.; ALCARAZ-MELENDEZ, L.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; HERNÁNDEZ-MONTIEL, L.; OJEDA-SILVERA, C. M.; MURILLO-AMADOR, B. Uso del FitoMas-E® como atenuante del estrés salino (NaCl) durante la emergencia y crecimiento inicial de *Ocimum basilicum* L. **Nova Scientia**, v. 7, n. 15, 2015.

BEKHRADI, F.; DELSHAD, M.; MARÍN, A.; LUNA, M. C.; GARRIDO, Y. KASHI, A.; BABALAR, M.; GIL, M. I. Effects of salt stress on physiological and postharvest quality characteristics of different Iranian genotypes of basil. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, v. 56, n. 6, p. 777-785, 2015.

BERTONCELLI, D. J.; MAZARO, S. M.; ROCHA, R. C. D. S.; POSSENTI, J. C.; REY, M. S.; ZORZZI, I. C. Ácido salicílico na indução de resistência a doenças em pepino e controle de *Pythium* sp. in vitro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, p. 124-131, 2015.

BIONE, M. A.; PAZ, V. D. S.; SILVA, F.; RIBAS, R. F.; SOARES, T. M. Crescimento e produção de manjericão em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1228-1234, 2014.

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, n. 3, p. 296-302, 2009.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of integrative Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 1610-1620, 2012.

ÇAMLICA, M.; YALDIZ, G.; ÖZEN, F. Effects of Different Basil Hydrosol Doses on the germination and shoot and root lengths of basil (*Ocimum basilicum*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. **Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research**, v. 51, p. 254-257, 2017.

CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Uso de ácido salicílico em calêndula. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 114-124, 2009.

CODY, R. **An Introduction to SAS University Edition**. SAS Institute, 2015.

EL-ESAWI, M. A.; ELANSARY, H. O.; EL-SHANHOREY, N. A.; ABDEL-HAMID, A. M. E.; ALI, H. M.; ELSHIKH, M. S. Salicylic acid-regulated antioxidante mechanisms and gene expression enhance rosemary performance under saline conditions.

- Frontiers in Physiology**, v. 8, n. 716, p. 1-14, 2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ. 1997.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4.ed. Brasília: Embrapa, 2014. 376p.
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L. D.; TEODORO, I.; MARROQUIM, P. M.; SANTOS, C. M. D.; BRITO, J. E. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 82, p. 11-16, 2010.
- FEITOSA, S. S.; ALBUQUERQUE, M. B.; OLIVEIRA, A. P.; PEREIRA, W. E.; BRITO NETO, J. F. Fisiologia do *Sesamum indicum* L. sob estresse hídrico e aplicação de ácido salicílico. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 711-723, 2016.
- FERNANDES, A. R. **Crescimento de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) cultivadas em vasos**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 2014. 42 p. Tese Doutorado.
- FERREIRA, S. D.; BULEGON, L. G.; YASSUE, R. M.; ECHER, M. M. Efeito da adubação nitrogenada e da sazonalidade na produtividade de *Ocimum basilicum* L. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, p. 67-73, 2016.
- FERREIRA, S. D.; ECHER, M. M.; BULEGON, L. G.; PASTÓRIO, M. A.; EGEWARTH, V. A.; YASSUE, R. M.; ACHRE, D. Influencia de la fertilización nitrogenada y la época de cultivo sobre el rendimiento de hojas de albahaca (*Ocimum basilicum* var. verde Toscana) con fines medicinales. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 20, p. 389-396, 2015.
- FREITAS, M. A. C.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; PEREIRA, M. S.; BESSA, M. C.; NOGUEIRA FILHO, F. P.; LACERDA, C. F. Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* expostas a diferentes níveis de radiação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 4, p. 839-849, 2014.
- GAUTAM, S.; SINGH, P. K. Salicylic acid-induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress. **Acta physiologiae plantarum**, v. 31, n. 6, p. 1185-1190, 2009.
- HANNACHI, S.; VAN LABEKE, M.C. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 56-65, 2018.
- HAO, J. C.; DONG, C. J.; ZANG, Z. G.; XANG, X. L.; SHANG, Q. M. Insights into salicylic acid responses in cucumber (*Cucumis sativus* L.) cotyledons based on a comparative proteomic analysis. **Plant Science**, v. 87, p. 69-82, 2012.
- HAYAT, Q.; HAYAT, S.; IRFAN, M.; AHMAD, A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 14-25, 2010.
- HEIDARI, M. Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic

components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 2, p. 379, 2012.

HUSSEIN, M. M.; EL-FAHAM, S. Y.; ALVA, A. K. Pepper plants growth, yield, photosynthetic pigments, and total phenols as affected by foliar application of potassium under different salinity irrigation water. **Agricultural Sciences**, v. 3, n. 2, p. 241-248, 2012.

JAKOVLJEVIĆ, D. Z.; TOPUZOVIĆ, M. D.; STANKOVIĆ, M. S.; BOJOVIĆ, B. M. Changes in antioxidant enzyme activity in response to salinity-induced oxidative stress during early growth of sweet basil. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 58, n. 3, p. 240-246, 2017.

JINI, D.; JOSEPH, B. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. **Rice Science**, v. 24, p. 97-108, 2017.

KANG, G. Z.; LI, G. Z.; LIU, G. Q.; XU, W.; PENG, X. Q.; WANG, C. Y.; GUO, T. C. Exogenous salicylic acid enhances wheat drought tolerance by influence on the expression of genes related to ascorbate-glutathione cycle. **Biologia Plantarum**, v. 57, p. 718-724, 2013

KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E.; TURAN, M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 2, p. 180-187, 2009.

KHALID, A. K.; SILVA, J. A. Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 126, p. 297-305, 2010.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington, DC: Secretaria da OEA. 1983.

LIANG, W.; MA, X.; WAN, P.; LIU, L. Plant salt-tolerance mechanism: a review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 495, n. 1, p. 286-291, 2018.

LISBOA, L. A. M.; LAPAZ, A. M.; VIANA, R. S.; LEONEZI, R. S.; FIGUEIREDO, P. A. M. Influência do ácido salicílico no processo germinativo de sementes de cultivares de sorgo sacarino. **Acta Iguazu**, v. 6, p. 37-49, 2017.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MAIA, S. S.; SILVA, R. C.; OLIVEIRA, F. D. A. D.; SILVA, O. M. D. P.; SILVA, A. C. D.; CANDIDO, W. D. S. Responses of basil cultivars to irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 44-49, 2017.

MANCARELLA, S.; ORSINI, F.; VAN OOSTEN, M. J.; SANOUBAR, R.; STANGHELLINI, C.; KONDO, S.; GIANQUINTO, G.; MAGGIO, A. Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 130, n. 1, p. 162-173, 2016.

MARCONDES, J.; GARCIA, A. B. Aspectos citomorfológicos do estresse salino em

plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 2, p. 187-194, 2009.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina, PR: ABRATES, 2015.

MAZZUCHELLI, E. H. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 443-450, 2014.

MEDEIROS, J. F. Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos. 1992. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C. Fluorescence of chlorophyll a and photosynthetic pigments in *Atriplex nummularia* under abiotic stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 232-237, 2017.

MESQUITA, S. B. S.; COSTA, R. S.; AMORIM, A. V.; LACERDA, C. F.; FONSECA, A. M. Crescimento e composição do óleo essencial de malvariço cultivado sob salinidade e doses de biofertilizante. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p.315-322, 2017.

MIURA, K.; TADA, Y. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1-12, 2014.

MOHAMMADZADEH, M.; AROUEE, H.; NEAMATI, S. H.; SHOOR, M. Effect of Different levels of salt stress and salicylic acid on morphological characteristics of four mass native basil (*Ocimum basilicum*). **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, p. 3590-3596, 2013.

MOREIRA, G. G.; VIANA, M. M.; LIRA, V. A.; GUISTEM, J. M.; SANTOS, F. N.; RODRIGUES, E. F. Condicionamento fisiológico de sementes de melão com diferentes soluções de ácido giberélico e ácido salicílico. **Horticultura Brasileira**, v. 31, S3652-S3659, 2014.

MOUSAVI, S. G.; JOUYBAN, Z. Effect of salinity stress on germination and growth parameters of seedlings of basil (*Ocimum basilicum* L.). **Technical Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 2, p. 84-87, 2012.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.

NAZAR, R.; IQBAL, N.; SYEED, S.; KHAN, N. A. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 8, p. 807-815, 2011.

NEVES, A. L.; LACERDA, C. D.; GUIMARÃES, F. V.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA, D. R. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com

água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 873-881, 2009.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 358-365, 2010.

PACHECO, A. C.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO NETO, N. B.; CARVALHO, P. R.; PEREIRA, D. N.; PACHECO, J. G. E. Germinação de sementes de camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert e calêndula (*Calendula officinalis* L.) tratadas com ácido salicílico. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, p. 61-67, 2007.

PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4056-4075, 2015.

PARIZI, M. D.; KALANTARI, K. M.; ENTESHARI, S.; BAGHIZADEH, A. Effect of salicylic acid and salt stress on Na and K content in *Ocimum basilicum* L. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 1, n. 3, p. 135-139, 2011.

PAULUS, D.; VALMORBIDA, R.; FERREIRA, S. B.; ZORZZI, I. C.; NAVA, G. A. Biomassa e composição do óleo essencial de manjeriço cultivado sob malhas fotoconversoras e colhido em diferentes épocas. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 46-53, 2016.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, R. C. A.; MOREIRA, A. L. M. **Manjeriço: cultivo e utilização**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 31 p.

PÉREZ, J. J. R.; AMADOR, B. M.; GARIBAY, A. N.; DIÉGUEZ, E. T. ESCOBAR, I. M. R.; PUENTE, E. O. R.; ANDRADE, J. L. C. Crecimiento y desarrollo de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de salinidad. **Terra Latinoamericana**, v. 32, n. 1, p. 35-45, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

REYES-PÉREZ, J. J.; MURILLO-AMADOR, B.; NIETO-GARIBAY, A.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; REYNALDO-ESCOBAR, I. M.; RUEDA-PUENTE, E. O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L. Tolerancia a la salinidad en variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento inicial. **Universidad y Ciencia**, v. 29, n. 2, p. 101-112, 2013.

RIBEIRO, R. C.; DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; PELACANI, C. R. Efeito do estresse salino na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae). **Gaia Scientia**, v. 11, n. 1 Especial, 2017

- RIVAS-SAN VICENTE, M.; PLASENCIA, J. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 10, p. 3321-3338, 2011.
- SAHAY, R.; PATRA, D. D. Identification and performance of sodicity tolerant phosphatesolubilizing bacterial isolates on *Ocimum basilicum* in sodic soil. **Ecological Engineering**, v. 71, n. 1, p. 639-643, 2014.
- SANTOS, C. A.; SILVA, N. V.; WALTER, L. S.; SILVA, E. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Germinação de sementes de duas espécies da caatinga sob déficit hídrico e salinidade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, p. 219-224, 2016.
- SEYFFERTH, C.; TSUDA, K. Salicylic acid signal transduction: the initiation of biosynthesis, perception and transcriptional reprogramming. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1-10, 2014.
- SHARMA, M.; GUPTA, S. K.; MAJUMDER, B.; MAURYA, V. K.; DEEBA, F.; ALAM, A.; PANDEY, V. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress. **Journal of Proteomics**, v. 163, p. 28-51, 2017.
- SHEKOOFEH, E.; SEPIDEH, H.; ROYA, R. Role of mycorrhizal fungi and salicylic acid in salinity tolerance of *Ocimum basilicum* resistance to salinity. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 9, p. 2223-2235, 2012.
- SHU, S.; YUAN, L. Y.; GUO, S. R.; SUN, J.; YUAN, Y. H. Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 209-216, 2013.
- SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.
- SILVA, T. I.; CHAVES, J. T. L.; BEZERRA, A. E.; SILVA, J. S.; SANTOS, H. R.; MARCO, C. A. Produção de fitomassa e teor de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. submetido ao estresse salino. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 2, p. 71-80, 2017.
- SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. 471 p.
- SNOUSSI, M.; DEHMANI, A.; NOUMI, E.; FLAMINI, G.; PAPETTI, A. Chemical composition and antibiofilm activity of *Petroselinum crispum* and *Ocimum basilicum* essential oils against *Vibrio spp.* Strains. **Microbial Pathogenesis**, v. 90, n. 1, p. 13-21, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento**



**to Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TARCHOUNE, I.; BAÂTOUR, O.; HARRATHI, J.; CIONI, P. L.; LACHAÂL, M.; FLAMINI, G.; OUERGHI, Z. Essential oil and volatile emissions of basil (*Ocimum basilicum*) leaves exposed to NaCl or Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> salinity. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 5, p. 748-755, 2013.

TARCHOUNE, I.; BAÂTOUR, O.; HARRATHI, J.; HAMDAROU, G.; LACHAÂL, M.; OUERGHI, Z.; MARZOUK, B. Effects of two sodium salts on fatty acid and essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 8, p. 2365-2372, 2013.

TARCHOUNE, I.; SGHERRI, C.; IZ, R.; LACHAÂL, M.; NAVARI-IZZO, F.; OUERGHI, Z. Changes in the antioxidative systems of *Ocimum basilicum* L. (cv. Fine) under different sodium salts. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 5, p. 1873-1881, 2012.

TARCHOUNE, I.; SGHERRI, C.; IZZO, R.; LACHAAL, M.; OUERGHI, Z.; NAVARI-IZZO, F. Antioxidative responses of *Ocimum basilicum* to sodium chloride or sodium sulphate salinization. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 1, p. 772-777, 2010.

TONEL, F. R.; MARINI, P.; BANDEIRA, J. M.; MORAIS D. M.; AMARANTE L. Salicylic acid: physiological and biochemical changes in seeds and maize seedlings subjected to salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 457-465, 2013.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. T. Mudança de escala da transpiração foliar e condutância estomática de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em função de variáveis ambientais. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 39, n. 90, p. 253-264, 2011.

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

TRIVELLINI, A.; GORDILLO, B.; RODRÍGUEZ-PULIDO, F. J.; BORGHESI, E.; FERRANTE, A.; VERNIERI, P.; QUIJADA MORÍN, N.; GONZÁLEZ-MIRET, M. L.; HEREDIA, F. J. Effect of salt stress in the regulation of anthocyanins and color of Hibiscus flowers by digital image analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 6966-6974, 2014.

WANG, W.; CHEN, Q.; HUSSAIN, S.; MEI, J.; DONG, H.; PENG, S.; NIE, L. Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress. **Scientific Reports**, v. 6, p. 19637, 2016.

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



EU

Este livro foi diagramado pela Editora UFPB em 2020,  
utilizando a família da fonte Minion Pro. Impresso em papel  
Offset 75 g/m<sup>2</sup> e capa em papel Supremo 250 g/m<sup>2</sup>.



A salinidade é um dos grandes entraves da agricultura moderna, afetando os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, e conseqüentemente, o seu crescimento e produtividade. Atualmente, buscam-se estratégias para amenizar os efeitos danosos dos sais às plantas, dentre esses o uso do ácido salicílico. Com vista nisso, objetivou-se avaliar o efeito atenuante do ácido salicílico na ecofisiologia, crescimento, fitomassa e qualidade de sementes de manjericão (*Ocimum basilicum* L. cv. Cinnamon) submetido ao estresse salino.

