



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

**KARINE ALEXIA TEIXEIRA AGUIAR**

**DESEMPENHO DE ALFACE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE**  
**EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO**

**FORTALEZA**

**2022**

KARINE ALEXIA TEIXEIRA AGUIAR

DESEMPENHO DE ALFACE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE EM  
SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita  
Coorientadora: Engenheira Agrônoma Daniela Melo Penha

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A229d Aguiar, Karine Alexia Teixeira.  
Desempenho de alface sob diferentes níveis de salinidade em sistema semi-hidropônico / Karine Alexia  
Teixeira Aguiar. – 2022.  
41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências  
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.  
Coorientação: Prof. Daniela Melo Penha.

1. Lactuca sativa L. 2. Condutividade elétrica. 3. Crescimento. 4. Estresse salino. I. Título.  
CDD 630

---

KARINE ALEXIA TEIXEIRA AGUIAR

DESEMPENHO DE ALFACE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE EM  
SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 01/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Engenheira Agrônoma Daniela Melo Penha (Coorientadora)  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UTFPR

---

Mestre Johny de Souza Silva (Avaliador)  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da UFC

---

Mestra Letícia Kenia Bessa de Oliveira (Avaliadora)  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da UFC

A Deus.

Aos meus pais, Wildes e Alessandra.

Às minhas irmãs, Alessandra e Ana Júlia.

Ao meu companheiro, Anderson.

**Dedico.**

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rosilene Oliveira Mesquita e  
a todos os “Mestres”.

**Ofereço.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pela força de inspiração, sabedoria e coragem para superar os obstáculos.

À Universidade Federal do Ceará, pela formação acadêmica.

À Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rosilene Oliveira Mesquita, pelo confiança e orientação.

À Daniela Melo Penha, pela oportunidade de fazer parte desse trabalho e por toda ajuda, apoio e coorientação.

Aos doutorandos Letícia Bessa, Rafael Santiago e Johny de Souza e mestranda Bruna Alves por tornarem viável o experimento através de toda colaboração.

Ao Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa, pela confiança e orientação ao longo do curso.

Aos membros do Grupo de Ensino e Estudos em Fruticultura (GFRUT), por toda amizade e aprendizado mútuo.

Aos participantes da banca examinadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosilene Mesquita, Mestranda Daniela Melo, Doutoranda Letícia Bessa e Doutorando Johny Silva, pela disponibilidade e correções para melhoria do trabalho.

À minha família, em especial, aos meus pais Wildes e Aleksandra, pelo amor, incentivo e por colaborarem com a minha permanência no curso.

Ao meu namorado, pelo apoio e força de inspiração.

Aos meus professores, pelos ensinamentos e partilha de conhecimento.

Muito obrigada!!!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.

Simone de Beauvoir



## RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais consumidas mundialmente, tendo o consumo favorecido pela facilidade de aquisição, valor nutritivo, sabor e baixo custo, levando a uma necessidade de produção em quantidade e qualidade e fornecimento o ano todo. No Brasil, é a hortaliça folhosa mais cultivada em sistemas hidropônicos e semi-hidropônicos, responsável por 80% da produção nesses sistemas de cultivo. Essa cultura é exigente em água e apresenta sensibilidade à salinidade da água de irrigação. Entretanto, no Semiárido, a escassez de água de boa qualidade leva ao uso de água salobra para a irrigação que pode limitar o desenvolvimento da espécie. Dessa forma, o cultivo semi-hidropônico auxilia no controle destas condições ambientais adversas e proporciona aumento na produtividade e qualidade da alface. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso de solução nutritiva com água salina, sobre a produção da alface crespa cv. Moana, cultivada em sistema semi-hidropônico com substrato comercial. O ensaio foi desenvolvido em casa de vegetação no Setor de Agricultura do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza-CE, instalado em delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, sendo cada unidade experimental representada por um vaso (capacidade para 3L) contendo uma planta. As plantas de alface foram submetidas a cinco níveis de salinidades [condutividades elétricas (CEs) 1,3; 2,0; 2,7; 3,4 e 4,1 dS m<sup>-1</sup>] e avaliadas quanto aos parâmetros de crescimento e fisiológicos. As variáveis avaliadas apresentaram resposta quadrática ou linear decrescente às doses salinas, revelando que a salinidade da solução nutritiva da irrigação acima de 2,0 dS m<sup>-1</sup> reduziu o crescimento das plantas, com reduções mais acentuadas em 4,1 dSm<sup>-1</sup>. As plantas de alface são sensíveis a salinidade na água de irrigação, uma vez que a salinidade reduziu grande parte das variáveis relacionadas ao crescimento, acúmulo de fitomassa e fisiologia à medida que se aumenta os níveis salinos.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L.; condutividade elétrica; crescimento; estresse salino.

## ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most consumed leafy vegetables worldwide, with consumption favored by the ease of acquisition, nutritional value, flavor and low cost, leading to a need for production in quantity and quality and supply throughout the year. In Brazil, it is the leafy vegetable most cultivated in hydroponic and semi-hydroponic systems, responsible for 80% of the production of these cultivation systems. This culture is demanding in water and sensitive to the salinity of the irrigation water. However, in the Semi-arid region, the scarcity of good quality water leads to the use of brackish water for irrigation that can limit the development of the species. Thus, the semi-hydroponic cultivation helps to control these adverse environmental conditions and provides an increase in productivity and quality of lettuce. In this context, this study aimed to evaluate the effect of the use of saline nutrient solution on the production of curly lettuce cv. Moana, cultivated in a semi-hydroponic system with commercial substrate. The experiment was carried out in a greenhouse in the Agriculture Sector of the Department of Plant Science, of the Federal University of Ceará (UFC), in Fortaleza-CE, installed in a randomized block design, with five replications, with each experimental unit represented by a pot (capacity for 3L) containing a plant. Lettuce plants were submitted to five levels of saline concentrations (electrical conductivities 1,3; 2,0; 2,7; 3,4 and 4,1 dS m<sup>-1</sup>) and evaluated by growth and physiological parameters, which showed a decreasing quadratic or linear response to saline doses, revealing that irrigation saline nutrient solution above 2,0 dS m<sup>-1</sup> reduced plant growth, with more pronounced reductions at 4,1 dSm<sup>-1</sup>. Lettuce plants are sensitive to salinity in irrigation water, since salinity reduced most of the variables related to growth, phytomass accumulation and physiology as saline levels increased.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L.; electric conductivity; growth; saline stress.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), número de folhas com sintomas (NFCS), diâmetro do caule (DC) e comprimento da raiz (CR)..... 24
- Tabela 2 Resumo da análise de variância para as variáveis massa fresca das folhas (MFF), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca das raízes (MSR), área foliar (AF) e índice relativo de clorofila (SPAD)..... 26
- Tabela 3 Resumo da análise de variância para as variáveis razão da área foliar específica (RAFE), razão da área foliar (RAF), razão da massa seca do caule (RMSC), razão da massa seca foliar (RMSF) e razão da massa seca radicular (RMSR)..... 29
- Tabela 4 Resumo da análise de variância para as variáveis taxa de transpiração ( $E - \text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), fotossintética líquida ( $A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e razão entre concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) ..... 31
- Tabela 5 – Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência instantânea do uso da água (EUA inst.), eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC)..... 34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Casa de vegetação onde o experimento foi realizado.....	20
Figura 2	- Distribuição das unidades experimentais.....	21
Figura 3	- Altura das plantas (A) e diâmetro do caule (B) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022..	25
Figura 4	- Exemplo do efeito da salinidade de cada tratamento em plantas de alface de um bloco.....	25
Figura 5	- Matéria fresca das folhas (A), massa seca das folhas (B) e massa seca das raízes (C) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.....	27
Figura 6	- Massa seca do caule (A) e área foliar (B) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.....	28
Figura 7	- Razão de área foliar (A), razão de massa seca das folhas (B) e razão de massa seca das raízes (C) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.....	30
Figura 8	- Taxa de transpiração (A), fotossíntese líquida (B) e condutância estomática (C) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.....	32
Figura 9	- Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022..	34



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Área foliar
ALT	Altura das plantas
CE	Condutividade elétrica
Ci/Ca	Razão entre concentração interna e externa de CO <sub>2</sub>
CR	Comprimento da raiz
DC	Diâmetro do caule
EiC	Eficiência instantânea de carboxilação
EUA inst.	Eficiência instantânea do uso da água
EUA intr.	Eficiência intrínseca do uso da água
IRGA	Analisador de gás infravermelho
MFF	Massa fresca das folhas
MSC	Massa seca do caule
MSF	Massa seca de folhas
MSR	Massa seca da raiz
NF	Número de folhas
NFCS	Número de folhas com sintomas
RAF	Razão da área foliar
RAFE	Razão de área foliar específica
RMSC	Razão da massa seca do caule
RMSF	Razão da massa seca foliar
RMSR	Razão da massa seca radicular
SPAD	Índice relativo de clorofila
UFC	Universidade Federal do Ceará

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
<i>A</i>	Taxa fotossintética líquida
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
dS	decisiemens
<i>E</i>	Taxa de transpiração
g	Grama
g <sub>s</sub>	Condutância estomática
ha	hectares
L	litro
m	metro
mg	miligrama
mmol	Milimol
mmolc	milimol por centimol de carga
°C	Graus celsius
s	Segundos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Olericultura no Brasil e Nordeste.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Aspectos gerais da alface.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Sistema semi-hidropônico para cultivo de alface.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Salinidade para a cultura da alface.....</b>	<b>19</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Localização e caracterização da área experimental .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Tratamentos e delineamento estatístico .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Condução do experimento.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Variáveis analisadas .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5 Análise estatística .....</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta anual herbácea pertencente à família Asteraceae, e é a hortaliça mais consumida mundialmente (PRADO e FILHO, 2016), tendo importância social e econômica, de forma a promover emprego, auxiliar na permanência dos agricultores no ambiente rural e geração de renda através da comercialização do produto.

Segundo Costa Júnior (2017), a alface possui grande importância para os pequenos produtores, sendo muito cultivada no Brasil devido à variabilidade genética da espécie, boa adaptação às adversas condições climáticas, custo baixo de produção, possibilidade de cultivos sucessivos e baixa susceptibilidade a pragas e doenças.

Devido à limitação de recursos hídricos em quantidade e qualidade, das altas temperaturas e intensa radiação da região Nordeste, o cultivo em ambiente protegido auxilia no controle de riscos oriundos das condições ambientais adversas, possibilitando maior produtividade da cultura (DIAS, 2019), com destaque para o cultivo hidropônico e semi-hidropônico, na qual a alface é bastante explorada (NETO, 2019), sendo pouca ou inexistente a contribuição do potencial mátrico sobre o potencial total hídrico, levando a uma absorção de água e nutrientes mais eficiente (SILVA et al., 2013).

De acordo com Rodrigues (2015), a produção hidropônica da alface vem ganhando cada vez mais importância devido à precocidade na colheita, área reduzida, maior eficiência na utilização de nutrientes, aumento da qualidade do produto final, além de possibilitar o controle das diversas condições climáticas, fatores estes que podem limitar o cultivo em determinadas épocas do ano.

Segundo Silva et al. (2013), é possível produzir comercialmente com águas salinas em diversos tipos de sistemas hidropônicos, mediante manejos adequados da água e práticas de cultivo.

Durante a primavera e verão, a alface pode ter a sua produção reduzida devido às mudanças climáticas, tais como a densidade pluviométrica e temperaturas altas. No entanto, outros fatores também podem influenciar na produtividade, como a qualidade da água utilizada na irrigação (SILVA et al., 2017). A maior parte das águas de irrigação utilizadas no Nordeste apresenta elevados teores de sais, podendo chegar até  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo a alface “moderadamente sensível” à salinidade, com decréscimo de

produção em 13% por aumento unitário de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) acima de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  em termos de condutividade elétrica de água (CEa) (BATISTA et al., 2012). Em estudos realizados com a cultura da alface, Rodrigues et al. (2015) relatam que a tolerância à salinidade depende do tipo de saís, cultivar, estágio fenológico, intensidade e duração do estresse salino.

A alface é exigente em água, fazendo com que em regiões semiáridas, como no Nordeste, faz-se necessário o uso da água de irrigação para obter uma boa produtividade. No entanto, a qualidade da água é indispensável para a produção, pois o uso indevido de água contendo elevada concentração de saís solúveis pode levar à salinização do solo e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento e crescimento da planta. Isso ocorre devido a redução do potencial osmótico da solução do solo, gerando estresse hídrico, toxicidade e desordem nutricional (SILVA et al., 2017).

Os estudos sobre a cultura visam principalmente o crescimento da planta, mas também é necessário ter em mente que a preferência de compra dos consumidores pelas hortaliças folhosas está relacionada também à aparência externa, tornando este um indicativo de qualidade do produto, fazendo-se necessária as pesquisas quanto à influência da salinidade da água no quesito quantitativo e qualitativo das plantas (MARQUES, 2017).

Dessa forma, estudos sobre a produção de alface sob salinidade são importantes ferramentas para o desenvolvimento da cultura na região Semiárida, visando obter boa produtividade e retorno econômico. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e fisiologia da cultivar de alface Moana, em sistema semi-hidropônico, utilizando solução nutritiva salinizada com diferentes condutividades elétricas.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Olericultura no Brasil e Nordeste**

Em 2015, a produção de hortaliças no Brasil ocupou uma área de aproximadamente 850.000 ha, com destaque para as produções de tomate (25%), cebola (12%), melancia (8%) e alface (8%), sendo esta correspondente a 47% do montante financeiro nacional dentre as hortaliças folhosas (DIAS, 2019).

As diferentes condições edafoclimáticas brasileiras, sobretudo no Nordeste, favorecem a produção de diversas hortaliças durante o ano inteiro (BRAINER, 2021). Segundo dados do Sebrae (2014), entre o período de 2000 a 2011, nos municípios do Rio Grande do Norte e do Ceará, o Vale do São Francisco, a região de Irecê, a Chapada Diamantina (BA), a Chapada Cristalina (GO), o Norte de Minas Gerais e o Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, a produção aumentou em até 35%, devido as condições climáticas favoráveis, disponibilidade de mão de obra e valor acessível da terra, principalmente para produtores mais especializados na olericultura de grande porte (PEREIRA E PEREIRA, 2016).

De acordo com Brainer (2021), as hortaliças são plantas facilmente cultivadas, viáveis para pequenos produtores, como uma fonte de renda alternativa, pois apresenta alta rentabilidade por área cultivada, fator relevante para propriedades menores localizadas no Nordeste, além de elevar a empregabilidade.

### **2.2 Aspectos gerais da alface**

A espécie *Lactuca sativa* L. é provavelmente descendente da espécie silvestre *Lactuca serriola*, e tem o Mediterrâneo como centro de origem. Possui domesticação antiga, cultivada no Mediterrâneo desde 2500 a.C. O cultivo no Egito objetivava o aproveitamento do óleo extraído das sementes, entretanto, na Grécia Antiga e no Império Romano o cultivo visava as folhas comestíveis (RODRIGUES, 2015).

De acordo com Monteiro Filho (2015), a alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e no mundo, tendo o consumo favorecido pela facilidade de aquisição, valor nutritivo, sabor e baixo custo, levando a uma necessidade de produção em quantidade e qualidade e fornecimento o ano todo.

Atualmente, existe um grande número de cultivares de alface, apresentando diferentes cores, formatos e tamanhos (SUINAGA et al., 2013). Segundo Souza (2013),

de modo geral, existem quatro principais grupos de variedades, de acordo com a sua aparência: grupo crespa, que não forma “cabeça” e possui grandes folhas, bordas onduladas ou crespas, e textura macia ou um pouco grossa; grupo lisa, forma uma “cabeça” simples, folhas bem macias, nervuras pouco proeminentes, bordas lisas e aspecto oleoso, conhecida como manteiga; grupo repolhuda americana, forma “cabeça” simples, grande, bem fechada e com folhas crespas; grupo romana, possui uma “cabeça” simples de formato cônico e folhas alongadas.

De modo geral, o crescimento ótimo da alface ocorre em climas temperados e úmidos, a temperaturas de 15 a 20°C, no entanto, a sua adaptação a um determinado clima depende principalmente da cultivar. A umidade relativa mais adequada está entre 60 e 80%. (RODRIGUES, 2015). É adaptada a solos de textura média com boa capacidade de retenção de água, visto que possui um sistema radicular muito superficial e ramificado, explorando os primeiros 0,25 m de profundidade do solo, enquanto a raiz pivotante pode chegar até 0,60 m de profundidade (PRADO e FILHO, 2016).

A forma de comercialização predominante da alface no Brasil é *in natura*, acondicionada em engradados, com capacidade expressa em quilos, variando em função da cultivar. Adicionalmente, o mercado consumidor está cada vez mais exigente, no qual se faz necessário eficiência na produção, facilidade no manuseio e qualidade final do produto (GALATI, 2013).

### **2.3 Sistema semi-hidropônico para cultivo de alface**

A alface é a hortaliça folhosa mais produzida e consumida no país, além de ser a hortaliça mais cultivada em sistemas hidropônicos, responsável por 80% da produção neste sistema de cultivo (MARQUES, 2017).

No Brasil, é recomendado o cultivo em ambiente protegido devido a altas temperaturas, limitação de recursos hídricos, chuvas intensas e longas ou excesso de radiação. Dessa forma, o cultivo protegido auxilia no controle destas condições ambientais e proporciona aumento na produtividade e qualidade, além da possibilidade de produção na entressafra (DIAS, 2019).

Apesar da prevalência de sistemas de cultivo protegido na produção hidropônica, o cultivo em substrato inerte vem se expandindo, em recipientes de diversos volumes e formatos, requerendo cuidados especiais na irrigação (MARQUES, 2017). O sistema

semi-hidropônico para a produção de hortaliças é uma opção para cultivo sem o uso de energia elétrica funcionando por nível. Se comparada ao sistema convencional, a quantidade de água consumida é bem menor devido este sistema fazer uso de solução nutritiva juntamente ao substrato sólido inerte (areia, fibra de coco, por exemplo), de forma a manter a umidade nas calhas, importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas (JARDINA et al., 2017).

#### **2.4 Salinidade para a cultura da alface**

Segundo Dias (2019), a alface é considerada moderadamente sensível à salinidade do solo e o rendimento potencial é atingido quando a água de irrigação atinge  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ , na qual reduz 13% no rendimento por aumento unitário da salinidade a partir deste limiar. Entretanto, suporta até  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  se cultivada em solo.

No Nordeste, o cultivo de hortaliças enfrenta o problema de escassez de água, sendo que a maior parte da água de irrigação provém de poços profundos, no qual apresentam elevados teores de sais, que pode variar de 0,1 a  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Por isso, são realizados diversos estudos visando a possibilidade de produção de hortaliças utilizando água com elevada condutividade elétrica em vários sistemas, como o sistema hidropônico, semi-hidropônico e em solo (DIAS, 2019).

Se comparado ao sistema convencional, no ambiente protegido as plantas apresentam maior tolerância a salinidade, devido ao potencial mátrico ter pouco ou nenhum efeito sobre o potencial total da água, reduzindo a dificuldade das plantas em absorver água, o que possibilita a utilização de águas salobras para o cultivo no semiárido (NETO, 2019).

De acordo com Neto (2019), as plantas de alface têm seu crescimento limitado pela salinidade, que atua de três formas: na primeira, a salinidade na zona radicular reduz o potencial osmótico da solução do solo, e conseqüentemente, diminui também o potencial hídrico, dificultando a absorção de água pela planta; no segundo, a salinidade atua acumulando íons potencialmente tóxicos aos tecidos vegetais ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{B}$ ), podendo gerar danos ao metabolismo; e no terceiro, a salinidade atua afetando o crescimento da planta, interferindo nas funções fisiológicas, pois está relacionada à inibição competitiva, elevadas concentrações de sódio e outros cátions, além de dificultar a absorção de elementos tais como  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^+$ . Ainda segundo o autor, essa

série de alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, apresentam como resposta: diminuição da taxa fotossintética devido a redução no suprimento de CO<sub>2</sub> na medida que o estômato se fecha; diminuição do teor de clorofila; transporte de elétrons no cloroplasto é alterado; diminuição na permeabilidade da membrana celular ao CO<sub>2</sub>, atividade enzimática sofre alteração; aumento da senescência, entre outros.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará (UFC), em áreas adjacentes pertencentes ao Setor de Agricultura do departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da referida universidade (Figura 1), no período de agosto a outubro de 2022. A área utilizada possui coordenadas geográficas 03° 44' 26.0" S, 38° 34' 29.3" W, com altitude de média de 21 m acima do nível do mar. O clima do município é classificado como do tipo Aw' (tropical chuvoso), segundo a classificação de Köppen (1918), com temperatura média anual de 26,5 °C.

Figura 1 - Casa de vegetação onde o experimento foi realizado



Fonte: Autora (2022).

Foi conduzido em sistema semi-hidropônico, utilizando alface (*Lactuca sativa* L.) de folhas caracteristicamente crespas, denominada comercialmente de ‘Moana’. As mudas foram produzidas com sementes da marca ISLA®, das safras de 2019/2020, com 91% de germinação e 100% de pureza.

O termohigrômetro foi utilizado para o monitoramento do microclima no interior do ambiente protegido, com leituras de temperatura real do ar e umidade relativa feitas

diariamente. A temperatura do ar na casa de vegetação apresentou média de 40,5°C durante todo o experimento. As temperaturas máximas atingiram em torno de 42,4°C e a temperatura mínima média durante o experimento foi de 25,5 °C. A umidade relativa média apresentou valor de 39,6% durante todo o experimento com a média das máximas de 81,1% e mínima de 36,8%.

### 3.2 Tratamentos e delineamento estatístico

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos, correspondentes aos seguintes níveis de condutividade elétrica: T0 = 1,3 dS m<sup>-1</sup> (testemunha); T1 = 2,0 dS m<sup>-1</sup>; T2 = 2,7 dS m<sup>-1</sup>; T3 = 3,4 dS m<sup>-1</sup> e T4 = 4,1 dS m<sup>-1</sup>, com cinco repetições (5 blocos). As soluções nutritivas concentradas foram baseadas na recomendação de Furlani (1998), preparadas em laboratório e diluídas com água proveniente do sistema de abastecimento local, sendo ajustadas aos diferentes níveis de salinidade. As soluções foram preparadas mediante a dissolução do cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>), mantendo-se uma proporção de 7:3, e armazenadas em depósitos plásticos com 100 L de capacidade. Cada unidade experimental foi composta por um vaso de 3 litros contendo substrato comercial Carolina Soil® com uma planta de alface, com um total de 25 vasos, em sistema semi-hidropônico (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição das unidades experimentais



Fonte: Autora (2022).

### 3.3 Condução do experimento

Para a produção de mudas da alface crespa, foi semeado três sementes por cavidade em bandejas de poliestireno, com 128 células, preenchidas com substrato vermiculita, as quais era aplicado solução nutritiva.

A recomendação de Furlani et al. (1998) para o preparo das soluções nutritivas utiliza as seguintes concentrações de fertilizantes, em g 1000 L<sup>-1</sup>: 700 de nitrato de cálcio; 500 de nitrato de potássio; 150 de fosfato monoamônio; e 400 de sulfato de magnésio. Para as fontes de micronutrientes da solução, foram utilizadas as seguintes concentrações, em g 1000 L<sup>-1</sup>: 0,15 de sulfato de cobre; 0,50 de sulfato de zinco; 1,50 de sulfato de manganês; 1,50 de ácido bórico e 0,15 de molibdato de sódio e 15 de Fe.

O desbaste foi realizado cinco dias após a emergência das plântulas, sendo mantida uma planta por célula. O transplante das mudas para os vasos foi realizado aos 18 dias após a semeadura, quando as plantas apresentavam de 5 a 6 cm de altura e de quatro a seis folhas definitivas.

Nos três primeiros dias após o transplante das mudas, realizou-se a irrigação com solução nutritiva de Furlani (1998). A partir do quarto dia foram iniciados os tratamentos com a aplicação da solução nutritiva apresentando os diferentes níveis salinos, de acordo com os tratamentos determinados.

A solução nutritiva com pH 6,05 e condutividade elétrica (CE) de acordo com cada tratamento foi aplicada diariamente, uma vez por dia, pela manhã, com lâmina de 300 mL planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Para evitar a salinização do substrato, em função dos tratamentos, em oito datas (a cada três dias) ao longo do ciclo, foi realizado a rega contendo apenas água. Nenhum tipo de controle fitossanitário foi utilizado.

A colheita foi realizada aos 31 dias após o transplante, quando as plantas atingiram o ponto de colheita comercial e foram acondicionadas em sacolas plásticas devidamente identificadas para serem analisadas quanto às características biométricas e fisiológicas.



### 3.4 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram: altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), número de folhas com sintomas (NFCS), diâmetro do caule (DC), comprimento da raiz (CR), massa fresca das folhas (MFF), massas secas das folhas (MSF), do caule (MSC), e raiz (MSR), e área foliar (AF).

A ALT foi medida com o auxílio de uma régua graduada, em cm. O NF foi medido através da contagem de folhas verdes maiores do que 3,0 cm de comprimento. O NFCS é caracterizado pela toxicidade do cloreto, aparecendo como queima do tecido foliar (começando nas pontas e continuando ao longo das bordas, com manchas brancas). O DC foi determinado com a utilização de paquímetro digital, em mm. O CR foi medido utilizando régua graduada, em cm, da região do caule rente ao substrato até seu ápice.

A AF foi determinada utilizando um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA) com resultado expresso em  $\text{cm}^2$ . A MFF foi obtida através da pesagem utilizando balança digital de precisão (0,01 g), em gramas.

A massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e das raízes (MSR) foram obtidas após secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada de ar a 60°C por um período de 72 horas, quando foi atingido um peso constante, sendo expresso em gramas.

Com os dados de matéria seca, foram calculadas: razão da área foliar específica (RAFE), em  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ; razão da área foliar (RAF), em  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ; razão da massa seca do caule (RMSC), em gramas; razão da massa seca foliar (RMSF); em gramas; e razão da massa seca radicular (RMSR), em gramas.

As análises fisiológicas foram obtidas através das variáveis: taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), fotossíntese ( $A$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), razão entre concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ ), eficiência instantânea de carboxilação (EiC), eficiência instantânea do uso da água (EUA inst.) e eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.), realizadas entre 9:00 e 10:00 horas, na terceira folha completamente expandida a partir do ápice, utilizando o analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, Li-Cor®

Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA), com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ( $1500 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentra\u00e7\u00e3o constante de  $\text{CO}_2$  (400 ppm) e temperatura e umidade ambiente, sendo este indispens\u00e1vel para tra\u00e7ar o perfil fisiol\u00f3gico de uma planta.

O \u00cdndice relativo de clorofila ou \u00cdndice SPAD foi mensurado por um clorofil\u00f4metro port\u00e1til- SPAD (Soil Plant Analysis Development), sendo aferido pela tarde, das 14:00 \u00e0s 14:30 horas utilizando-se tr\u00eas leituras em tr\u00eas folhas completamente expandidas.

### 3.5 An\u00e1lise estat\u00edstica

Os dados das vari\u00e1veis analisadas foram submetidos a an\u00e1lise de vari\u00e2ncia e, quando significativos, foi realizada an\u00e1lise de regress\u00e3o e escolhido o melhor modelo ajustado de acordo com signific\u00e2ncia dos coeficientes de regress\u00e3o a 5% de probabilidade pelo teste F e com maior coeficiente de determina\u00e7\u00e3o. As an\u00e1lises estat\u00edsticas foram realizadas no programa R e os gr\u00e1ficos foram confeccionados atrav\u00e9s do programa Excel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSS\u00c3O

A partir da an\u00e1lise de vari\u00e2ncia, verifica-se que houve efeito significativo ao n\u00edvel de 5% de probabilidade para as vari\u00e1veis altura da planta (ALT) e di\u00e2metro do caule (DC). Entretanto, n\u00e3o houve resposta significativa para as vari\u00e1veis n\u00famero de folhas (NF), n\u00famero de folhas com sintomas (NFCS) e comprimento da raiz (CR) (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da an\u00e1lise de vari\u00e2ncia para as vari\u00e1veis altura de plantas (ALT), n\u00famero de folhas (NF), n\u00famero de folhas com sintomas (NFCS), di\u00e2metro do caule

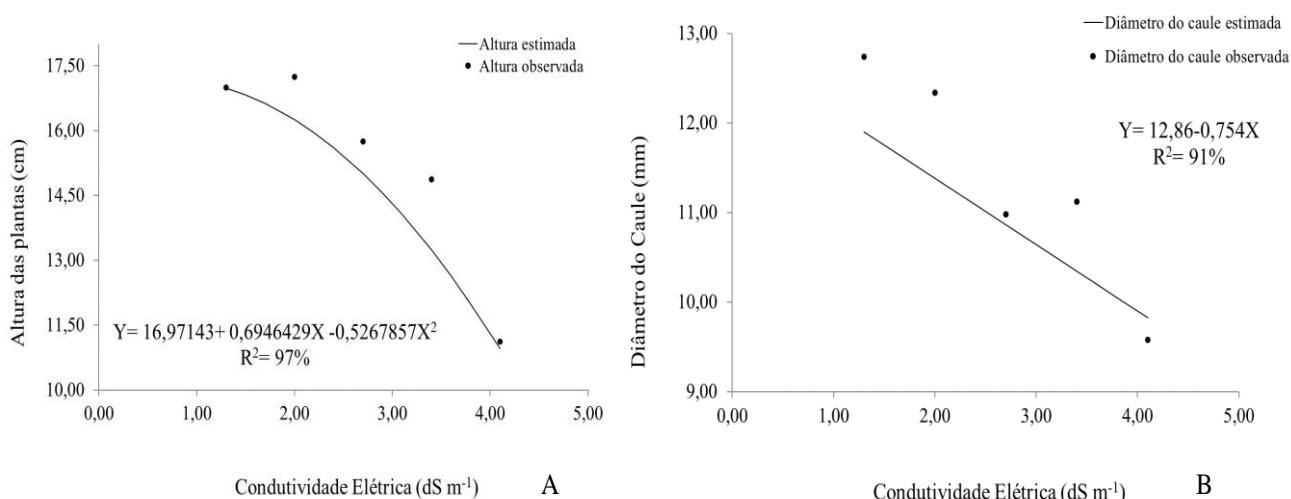
Causas de varia\u00e7\u00e3o	GL	Vari\u00e1veis				
		ALT	NF	NFCS	DC	CR
QM	4	24,4563*	4,840 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	7,7936*	6,925 <sup>ns</sup>
CV(%)		9,24	10,75	14,17	11,06	20,5

(DC) e comprimento da raiz (CR).

\* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo; GL= Graus de liberdade; QM = quadrados médios; CV = coeficientes de variação.

Fonte: elaborada pela autora.

O aumento da salinidade teve efeito negativo sobre ALT e DC, no qual observou-se redução quando as plantas de alface foram submetidas a maiores concentrações salinas da água de irrigação em relação ao controle ( $1,3 \text{ dSm}^{-1}$ ). A equação de regressão que apresentou melhor ajuste foi do tipo quadrática para ALT e



linear decrescente para DC, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,97 e 0,91, respectivamente, evidenciando reduções com o aumento da salinidade, de forma que entre as condutividades elétricas  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  e  $4,1 \text{ dS m}^{-1}$  ocorreu uma redução total de 34,6% para ALT e 24,8% para DC (Figuras 3A e 3B).

Figura 3 - Altura das plantas (A) e diâmetro do caule (B) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.

Fonte: Autora (2022).

De maneira geral, o efeito mais comum da salinidade sobre a ALT é a limitação da expansão celular ocasionado pelo aumento da pressão osmótica do meio e a consequente plasmólise celular, que afeta a divisão e o alongamento das células (SILVA et al., 2012).

Figura 4 - Exemplo do efeito da salinidade de cada tratamento em plantas de alface de um bloco



Fonte: Autora (2022).

Com base nos resultados da análise de variância, observa-se que os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação não influenciaram significativamente nas variáveis número de folhas, número de folhas com sintomas e comprimento das raízes. Esses resultados concordam com os encontrados por Silva et al. (2018), quando avaliaram o número de folhas, com salinidade da água de irrigação variando de 0,10 a 4,10 dS m<sup>-1</sup>, mas diferem quanto ao número de folhas com sintomas e comprimento das raízes, que constataram resposta significativa para a cultura da alface. Estes resultados mostram que o efeito da salinidade da água sobre o crescimento das plantas é variável e dependem de vários fatores, como por exemplo os fatores edafoclimáticos e genéticos.

Nesse sentido, como não houve alteração para o número de folhas, possivelmente a cultivar de alface utilizou sua maior demanda de fotoassimilados para produção de folhas.

A partir da análise de variância, verifica-se que houve resposta significativa ( $p < 0,05$ ) para as variáveis massa fresca das folhas (MFF), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca das raízes (MSR) e área foliar (AF). No entanto, não houve resposta significativa para a variável índice relativo de clorofila (SPAD) (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis massa fresca das folhas (MFF), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca das raízes (MSR), área foliar (AF) e índice relativo de clorofila (SPAD).

Causas de	GL	Variáveis
-----------	----	-----------

variação		MFF	MSF	MSC	MSR	AF	SPAD
QM	4	1163,08*	5,2614*	0,0229204*	13,0720*	501085*	4,0876 <sup>ns</sup>
CV(%)		21,88	23,11	31,24	45,66	12,14	16,28

\* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo; GL= Graus de liberdade; QM = quadrados médios; CV = coeficientes de variação.

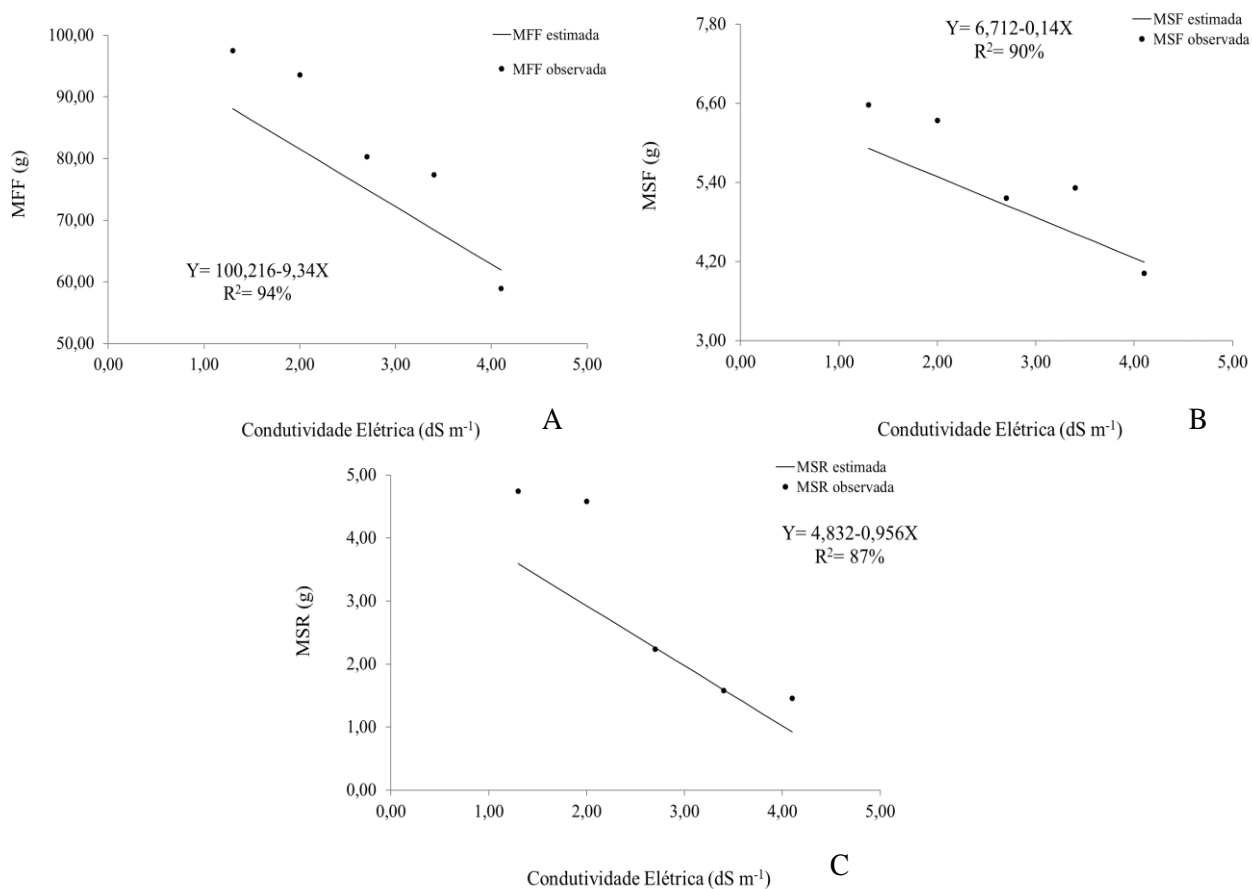
Fonte: elaborada pela autora.

Houve redução na produção de matéria fresca e seca dos órgãos analisados em função do aumento da condutividade elétrica salina adicionado na solução nutritiva. A equação de regressão que apresentou melhor ajuste para as três variáveis foi do tipo linear decrescente, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,94, 0,90 e 0,87, respectivamente, evidenciando reduções em detrimento do acréscimo da salinidade da solução nutritiva, de forma que na condutividade elétrica 4,1 dS m<sup>-1</sup> ocorreu redução total de 39,6% para MFF, 38,9% para MSF e 69,2% para MSR (Figuras 5A, 5B e 5C).

Figura 5 - Matéria fresca das folhas (A), massa seca das folhas (B) e massa seca das raízes (C) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.

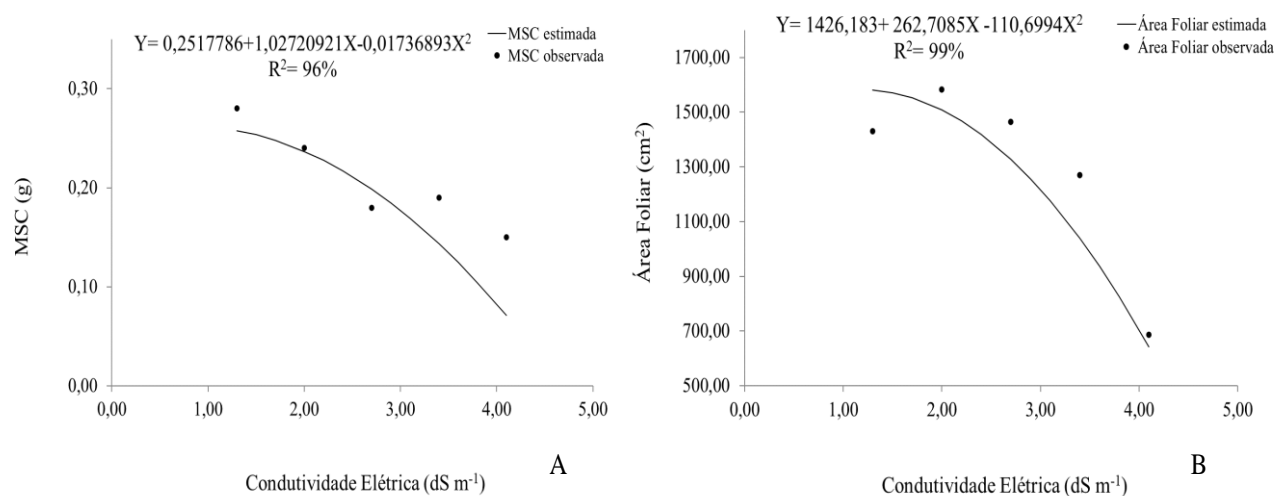
Fonte: Autora (2022).

Observou-se comportamento similar nas variáveis massa seca do caule e área



foliar, as quais apresentaram reduções de 46,4% e 48% para o último tratamento (4,1 dS m<sup>-1</sup>), com curvas de regressão do tipo quadrática e  $R^2$  de 0,96 e 0,99, respectivamente (Figuras 6A e 6B). Para a área foliar, foi observado inicialmente um incremento até a salinidade 2,0 dS m<sup>-1</sup>, decrescendo nas maiores salinidades.

Figura 6 - Massa seca do caule (A) e área foliar (B) de alface crespa cultivadas com



diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.

Fonte: Autora (2022).

Avaliando as Figuras 5A e 6B, verifica-se comportamentos semelhantes, concordando com os valores verificados por Dias et al. (2011) tanto para massa fresca foliar quanto para área foliar, evidenciando que a salinidade afeta a absorção de água e a expansão do limbo foliar, fator importante uma vez que as folhas correspondem à parte comercial da alface. Além disso, a área foliar é indicativa da produtividade devido o processo fotossintético depender da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química, que ocorre na folha. Este decréscimo da área foliar observado neste trabalho está relacionado aos mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino, que é reduzir a superfície de transpiração, diminuir o teor de água nas folhas ou aumentar a concentração de solutos compatíveis ou ajustamento osmótico (COELHO, 2012). Além disso, o estresse salino reduz o crescimento das plantas devido à menor absorção de água para expansão dos tecidos.

Pode-se inferir que, para os tratamentos estudados, a produção de massas de matéria seca e fresca e o rendimento relativo decresceram com o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva, resultando em menor acúmulo de fitomassa em 4,1 dSm<sup>-1</sup>.

A massa seca da raiz foi afetada pelo aumento da salinidade, confirmando o estudo de Silva et al. (2017), que verificaram resposta linear decrescente para a MSR

com o aumento da salinidade da água de irrigação. Dessa forma, segundo o autor, resultados com baixos índices no desenvolvimento radicular podem ser atribuídos ao aumento da concentração de sais que atuam no processo fisiológico, de modo a reduzir a absorção de água pelas raízes, inibir a atividade meristemática e o alongamento celular e, conseqüentemente, reduzir o crescimento e o desenvolvimento das plantas de alface.

Os valores do índice relativo de clorofila (SPAD) não variaram significativamente com o aumento da salinidade na solução nutritiva. A salinidade pode limitar o crescimento e a produtividade das plantas, e estas podem responder a esse estresse através de vários mecanismos como, por exemplo, reduzindo a concentração de clorofilas pelo aumento da atividade da enzima clorofilase, que degrada a clorofila (LACERDA, 2016), o que não ocorreu no presente trabalho.

A partir da análise de variância, verifica-se que houve resposta significativa ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis razão da área foliar (RAF), razão da massa seca foliar (RMSF) e razão da massa seca radicular (RMSR). Entretanto, não houve resposta significativa para as variáveis razão da área foliar específica (RAFE) e razão da massa seca do caule (RMSC) (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis razão da área foliar específica (RAFE), razão da área foliar (RAF), razão da massa seca do caule (RMSC), razão da massa seca foliar (RMSF) e razão da massa seca radicular (RMSR).

Causas de variação	GL	Variáveis				
		RAFE	RAF	RMSC	RMSF	RMSR
QM	4	222,95 <sup>ns</sup>	140586377*	1,7953e05 <sup>ns</sup>	0,0305763*	0,0315942*
CV(%)		9,28	41,99	23,26	10,57	23,09

\* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo; GL= Graus de liberdade; QM = quadrados médios; CV = coeficientes de variação.

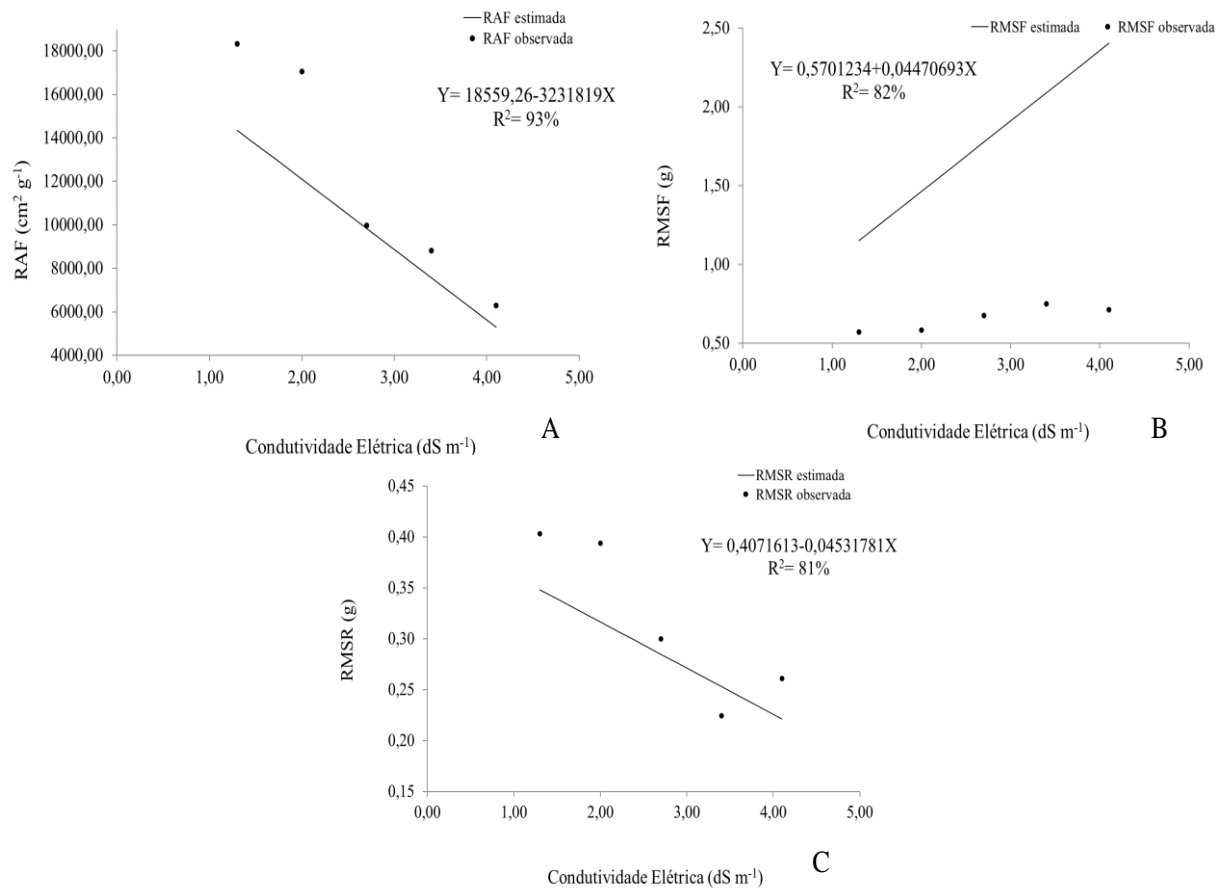
Fonte: elaborada pela autora.

As razões de área foliar, razão de massa seca das folhas e razão de massa seca das raízes foram estatisticamente afetadas ( $p < 0,05$ ) pela salinidade da solução nutritiva, e as equações de regressão que apresentaram melhor ajuste foi do tipo linear decrescente, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,93, 0,82 e 0,81,



respectivamente, evidenciando reduções de 65,7% para RAF e 34,7% para RMSR entre as condutividades elétricas 1,3 dS m<sup>-1</sup> e 4,1 dS m<sup>-1</sup>, à exceção da RMSF, que apresentou acréscimos nos tratamentos, como mostram as Figuras 7A, 7B e 7C.

Figura 7 - Razão de área foliar (A), razão de massa seca das folhas (B) e razão de massa seca das raízes (C) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da



solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.

Fonte: Autora (2022).

A razão de área foliar é um índice ecofisiológico importante, que serve como parâmetro para a captura da radiação fotossinteticamente ativa e está relacionada com a produção de fitomassa resultante do processo fotossintético. Observou-se que a RAF da alface foi significativamente afetada pelos níveis crescentes da salinidade da solução nutritiva, sendo melhor ajustada ao modelo linear, indicando um decréscimo para cada aumento unitário da CE, no qual verificou-se que as plantas sob os níveis salinos mais elevados apresentaram menor quantidade de material fotossintetizante em relação à massa da matéria seca total (SOARES et al., 2013).

A razão massa seca do caule, razão massa seca da raiz e razão massa seca foliar expressam qual a parcela de fração da matéria seca que foi exportada para as diferentes partes da planta. No presente trabalho, apenas a RMSC não foi afetada significativamente pelo aumento da salinidade da solução nutritiva.

A razão de área foliar específica não houve resposta significativa, portanto não foi afetada pela salinidade da solução nutritiva. A RAFE representa a relação entre a área do limbo foliar com a massa da folha, indicando a espessura foliar de forma que quanto menor a RAFE, mais espesso é o limbo da folha. Desse modo, a condição de estresse salino resulta em folhas mais grossas e coriáceas (GUIMARÃES et al., 2017). O aumento da massa específica foliar pelo incremento na espessura do mesofilo pode levar ao favorecimento da assimilação de carbono por unidade de área foliar, representando um mecanismo de aclimação a condição salina (SOUSA et al., 2018).

A partir da análise de variância, observa-se na Tabela 4, efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis taxa de transpiração ( $E$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ). Entretanto, não houve resposta significativa para a variável razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis taxa de transpiração ( $E$  -  $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), fotossíntese líquida ( $A$  -  $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$  -  $mol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) e razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$  -  $\mu mol\ CO_2\ mol^{-1}$ ).

Causas de variação	GL	Variáveis			
		$E$	$A$	$g_s$	$C_i/C_a$
QM	4	83,694*	99,310*	0,124540*	0,0065588 <sup>ns</sup>
CV(%)		23,12	11,66	28,67	6,01

\* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo; GL= Graus de liberdade; QM = quadrados médios; CV = coeficientes de variação.

Fonte: elaborada pela autora.

A variável taxa de transpiração, fotossíntese líquida e condutância estomática se ajustaram a equação linear decrescente, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,97, 0,96 e 0,86, respectivamente, evidenciando reduções com o aumento da salinidade, de

forma que na condutividade elétrica  $4,1 \text{ dS m}^{-1}$  ocorreu redução total de 54,3% para  $E$ , 52,2% para  $A$  e 59,6% para  $g_s$  (Figuras 8A, 8B e 8C).

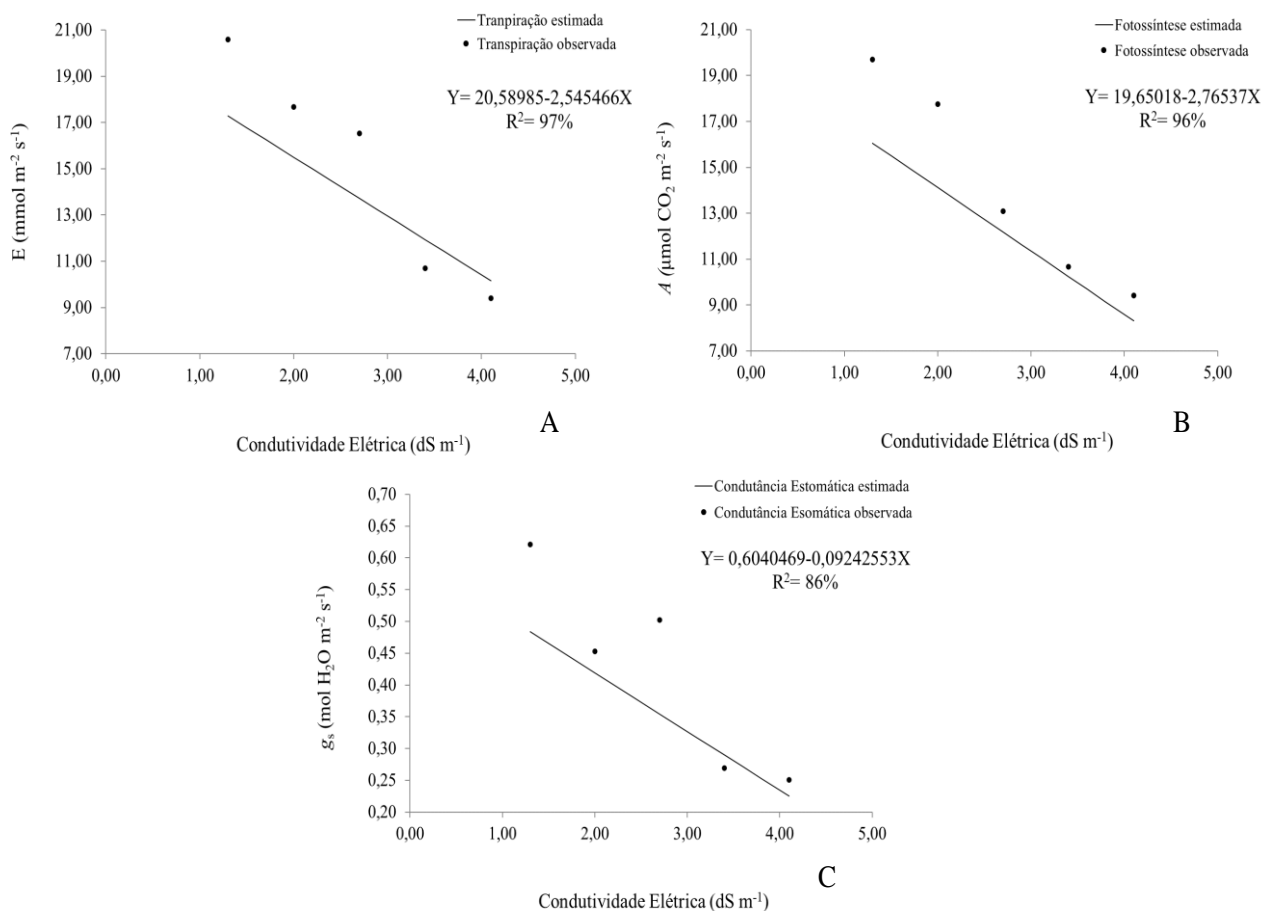


Figura 8 - Taxa de transpiração (A), fotossíntese líquida (B) e condutância estomática (C) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.

Fonte: Autora (2022).

A transpiração decresceu linearmente com o aumento da concentração de sais na solução nutritiva. O efeito osmótico da salinidade possivelmente diminuiu a disponibilidade de água para a planta, levando ao estresse hídrico, com redução progressiva da superfície de transpiração (RODRIGUES, 2015). O excesso de sais na solução do solo pode modificar as atividades metabólicas das células no processo de alongamento celular, de forma a limitar a elasticidade da parede celular, reduzir o alongamento da célula, e com isso prejudicar o crescimento da planta (GUEDES et al., 2015).

O decréscimo de  $E$ ,  $g_s$  e  $A$  na planta possivelmente se deve ao estresse gerado pela exposição à solução nutritiva salina, que diminuiu a transpiração em decorrência do estresse hídrico induzido, ocasionado pelo efeito osmótico, com conseqüente redução da taxa fotossintética (VIANA, 2015). Entre os processos comprometidos pela salinidade, a fotossíntese é o que mais se destaca, sendo considerada para diversas espécies de plantas como um marcador de tolerância a estresses abióticos (FORTES, 2016).

A diminuição da taxa fotossintética está comumente associada à condutância estomática foliar em plantas submetidas a condições de estresse salino, no qual o presente estudo pode atribuir este declínio da  $A$  e  $E$  pela  $g_s$  que foi afetada pela salinidade. A condutância estomática e a taxa de fotossíntese possuem relação direta, ou seja, quanto maior a condutância estomática maior é a taxa de fotossíntese (ANDRADE, 2019). Adicionalmente, os resultados desse estudo corroboram com os de Guimarães et al. (2019), os quais sugerem que a diminuição da assimilação de  $CO_2$ , da condutância estomática e da transpiração das plantas pode ser provocada pelo excesso de íons na solução, em que foi verificado que os efeitos primários da salinidade estavam relacionados à diminuição da condutância estomática, levando à diminuição da difusão de  $CO_2$  e, em conseqüência, da taxa de fotossintética líquida.

Segundo Andrade (2019) os efeitos da salinidade sobre as plantas são semelhantes aos efeitos causados por déficit hídrico e podem ser classificados em efeitos primários e secundários, tendo como sintomas primários a redução do potencial hídrico pelo excesso de sais, a desidratação celular e citotoxicidade iônica; e como sintomas secundários a redução da expansão celular/foliar; fechamento estomático; abscisão foliar; cavitação e inibição fotossintética.

A partir da análise de variância presente na Tabela 5, verifica-se que houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade para a variável eficiência instantânea de carboxilação ( $E_iC$ ). Entretanto, não houve resposta significativa para as variáveis eficiência instantânea do uso da água ( $EUA_{inst.}$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $EUA_{int.}$ ).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência instantânea do uso da água (EUA inst.), eficiência intrínseca do uso da água (EUA int.) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC).

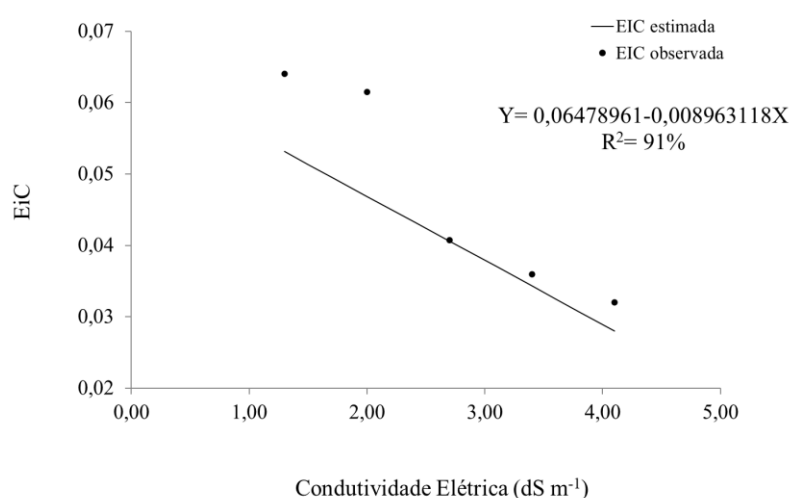
Causas de variação	GL	Variáveis		
		EUA inst.	EUAint.	EiC
QM	4	0,045104 <sup>ns</sup>	294,74 <sup>ns</sup>	0,00110789*
CV(%)		19,88	28	13,2

\* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo; GL= Graus de liberdade; QM = quadrados médios; CV = coeficientes de variação.

Fonte: elaborada pela autora.

Para a eficiência instantânea de carboxilação, pode-se verificar que houve resposta significativa entre as condições salinas às quais as plantas foram submetidas, e a equação de regressão que apresentou melhor ajuste foi do tipo linear decrescente, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,91, evidenciando reduções em detrimento do acréscimo da salinidade da solução nutritiva, de forma que entre as condutividades elétricas  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  e  $4,1 \text{ dS m}^{-1}$  ocorreu uma redução de 50% (Figura 9).

Figura 9 - Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de alface crespa cultivadas com diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, Fortaleza-CE, 2022.



Fonte: Autora (2022).

Para Andrade et al. (2019), a eficiência instantânea de carboxilação depende da disponibilidade de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da atividade enzimática para que haja fotossíntese. Como a concentração interna de CO<sub>2</sub> nas folhas não variou, de modo que a temperatura e luminosidade permaneceram constantes no momento da análise, possivelmente as reações de carboxilação foram o fator responsável pela variação.

A redução da EiC possui relação com as condições de estresse salino devido a redução da taxa fotossintética, resultando baixa disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a Rubisco (SILVA et al., 2022).

A eficiência instantânea do uso da água, não apresentou resposta significativa das plantas, que influenciada pelo estresse salino, pode reduzir a abertura estomática, pois com o fechamento dos estômatos, a planta evita a perda de água por transpiração (FREITAS, 2018). Os trabalhos encontrados na literatura com alface mostram que a EUA inst., sob condições de cultivo hidropônico, a maior disponibilidade de água proporciona maior evapotranspiração que contribui com a redução da eficiência (ANDRADE, 2019).

No presente trabalho, a eficiência intrínseca do uso da água não foi afetada significativamente pelo aumento da salinidade da solução nutritiva, parâmetro importante de indicação da captação de carbono com menor abertura estomática, de modo a contribuir para a manutenção da fotossíntese e maior plasticidade fisiológica em condições adversas (SILVA et al., 2022).

Níveis crescentes de salinidade afetam o crescimento e trocas gasosas de plantas de alface crespa com significativa redução, sendo linear e decrescente para as variáveis diâmetro do caule, massa fresca das folhas, massa seca das folhas e raízes, razão da área foliar, razão da massa seca foliar, razão da massa seca radicular, transpiração, fotossíntese, condutância estomática e eficiência instantânea de carboxilação; e decresce de forma quadrática para as variáveis altura das plantas, massa seca do caule e área foliar.

Foi observado efeito significativo no desenvolvimento das cultivares de alface nos níveis de salinidade acima de 2,0 dS m<sup>-1</sup>.

## 5 CONCLUSÃO

O crescimento e fisiologia da alface crespa cv. Moana é prejudicada pelo aumento na salinidade da água de irrigação, afetando a produção comercial.

Na produção semi-hidropônica de alface, o uso de solução nutritiva salina resultou em redução significativa da produção de massa de matéria seca da planta.

A condutividade elétrica de  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  promoveu incremento na área foliar e altura das plantas, sendo esses importantes parâmetros para produção e comercialização da alface.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. R. de. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima semiárido.** 2019. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- BATISTA, L. R. L., GONZAGA, G. B. M., FARIAS, J. J. A., REIS, L. S., SILVA, J. S., SILVA, R. F. (2012). Efeito do ácido húmico no desenvolvimento da cultura da alface (*Lactuca sativa*) irrigada com diferentes níveis de salinidade. In: **VII CONNEPI- Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas. Anais, IFTO.** p. 1-7. 2012.
- BRAINER, M.S.C.P. **Produção de hortaliças na área de atuação do BNB.** Banco do Nordeste. Caderno Setorial ETENE,180:3, 2021.
- COELHO, J. B. M. **Potencial osmótico, solutos orgânicos e comportamento hídrico do feijão vigna cultivado em solos salinizados.** Dissertação (Tese Doutorado Ciência do solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRP, Recife-PE, 71p, 2012.
- COSTA JUNIOR, A. B. D. (2017). **Cultivares de alface crespa roxa em diferentes épocas e ambientes de cultivo em Iranduba, AM.** 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas. 2017.
- DIAS, N. D. S., JALES, A. G. D. O., SOUSA NETO, O. N. D., GONZAGA, M. I. D. S., QUEIROZ, Í. S. R. D., PORTO, M. A. F. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva da alface, cultivada em fibra de coco. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 632-637, 2011.
- DIAS, R. H. **Desempenho de cultivares de alface em sistema semi-hidropônico fertirrigadas com soluções nutritivas salinizadas.** 2019. 23 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA, Mossoró, RN, 2019.
- FORTES, J. F. M. **Desempenho produtivo e fisiológico da alface em sistema hidropônico sob temperatura elevada.** 2016. 24 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- FREITAS, W. E. S. **Adubação suplementar com enxofre como atenuador dos efeitos do estresse salino em plantas de alface hidropônica.** 2018. 96 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- FURLANI, P. R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia - NFT.** Campinas: Instituto Agrônomo, 18 p. (Documentos IAC; 55) 1995. *Hydroponic vegetable production in Brazil.* Acta Horticulturae, Canadá, v. 481, p. 777-778, 1999. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia - NFT. Campinas: Instituto Agrônomo, 30 p. (Documentos IAC; 168) 1998.
- FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIM, V. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: IAC. 52p. (Boletim técnico, 180), 1999.



- GALATI, V. C. **Armazenamento refrigerado e processamento mínimo de alface americana cultivada em hidroponia com diferentes doses de silício.** 2013. Tese de doutorado (Agronomia – Produção vegetal) – Faculdade de ciências agrárias e veterinárias (FCAV), Jaboticabal, 2013.
- GUEDES, R. A., OLIVEIRA, F. D. A. D., ALVES, R. D. C., MEDEIROS, A. S. D., GOMES, L. P., COSTA, L. P. Irrigation strategies with saline water on cherry tomato in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande Pb: Universidade Federal Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 913-919, 2015.
- GUIMARÃES, Í. T. **Aplicação foliar de biofertilizante em alface semi-hidropônica fertigada com solução salina.** 2017. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA, Mossoró – RN. 18f, 2017.
- GUIMARÃES, R. F. B.; MAIA JÚNIOR, S. de O.; NASCIMENTO, R. do; MELO, D. F. de; RAMOS, J. G.; ANDRADE, J. R. de. Trocas gasosas em cultivares de alface crespa em cultivo hidropônico com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 4, p.3599- 3609, 2019.
- JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 78-82, jan./mar. 2017.
- LACERDA, J. J. **Estresse salino e seus efeitos no crescimento inicial de clones de *Eucalyptus spp.*** 2016. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 121 f. 2016.
- LEMONS NETO, H de S. **Silício na atenuação dos efeitos da salinidade em alface hidropônica.** 2019. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- MARQUES, I. C. D. S. **Suplementação potássica na cultura da alface semi-hidropônica utilizando solução salina.** 2017. Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA, Mossoró, RN, 2017.
- MARQUES, I. C. S.; NETA, H. M.; RÉGIS, L. R. S.; TARGINO, A. J. O.; SANTOS, J. M. A. P.; OLIVEIRA, F. A. **Salinidade e volume de recipiente na produção de alface em sistema semi-hidroponico.** IV INOVAGRI International Meeting, 2017.
- MONTEIRO FILHO, A. F. **Viabilidade do cultivo hidropônico de genótipos de alface com soluções minerais e organominerais otimizadas.** 2015. 170f. (Tese de Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2015.
- PEREIRA, I. S.; PEREIRA, M. T. **Olericultura** / NT Editora. Brasília: 2016. 158p.
- PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças.** Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2016.
- RODRIGUES, R. R.; BERTOSSI, A. P. A.; GARCIA, G. O.; ALMEIDA, J. R.; SILVA, E. A. Salinidade no desenvolvimento de cultivares de alface. **Agrarian academy**, v.2, p.70, 2015.

- RODRIGUES, S. J. V. **Cultura da alface em semi-hidroponia**. 2015. 89 f. Dissertação de mestrado apresentada na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja. 2015.
- SANTOS LIMA, M. S.; BORGES, L. D. S.; ALVES SANTOS, N. D. F.; SILVA MELO, M. R. DA; SOUSA, V. Q.; BIRANI, S. M.; SILVA PEDROSO, A. J.; GOMES, R. F. Qualidade e produtividade econômica de cultivares alface conduzidas nas condições edafoclimáticas do Sudeste Paraense. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 227, 2018.
- SILVA, A. L. da; NASCIMENTO, M. N. do; TANAN, T. T; OLIVEIRA, U. C. de; LIMA, J. do C. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de alface crespa. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. v. 14, n. 26, p 328-337, 2017.
- SILVA, B.A.D.; CASTRO, C.S.D.; SILVA, J.D.S.; COSTA, R.S.D.; CARDOSO, F.B.; MESQUITA, R.O. A Biostimulant Based on Algae Extract and Fulvic Acids Is Able to Improve Photosynthetic Performance and Mitigate the Effects of Salinity in Soybean. **Biol. Life Sci. Forum** **2022**, 11, 92. <https://doi.org/10.3390/IECPS2021-12041>
- SILVA, D. A. O., SANTOS, W. M., SILVA, T. S. S., FERNANDES, S. P., CARNEIRO, P. T., SANTOS, C. G. (2018). Desempenho da alface (*Lactuca Sativa* L.) submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Ambiental**, 10(3), 32-42. 2018.
- SILVA, F. V., DUARTE, S. N., LIMA, C. J. D. S., DIAS, N. D. S., SANTOS, R. S. D. S., MEDEIROS, P. R. (2013). Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 476-482, 2013.
- SILVA, I. A. C. E., DO NASCIMENTO, R. O. N. A. L. D. O. **Influência da salinidade no índice SPAD em genótipos de feijão-caupi**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC Palmas/TO – Brasil 17 a 19 de setembro de 2019.
- SILVA, J. L. A., DE MEDEIROS, J. F., DE OLIVEIRA, M. K. T., ALVES, S. S. V., DO NASCIMENTO, I. B. (2012). Desenvolvimento inicial do girassol submetido a diferentes níveis de salinidade em dois tipos de solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 22, 2012.
- SOARES, L. A. dos A.; LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; PEREIRA, F. H. F. Fisiologia e acúmulo de fitomassa pela mamoneira submetida a estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n. 1, p. 247-256, 2013.
- SOUSA, R. A., LACERDA, C. F., de AGUIAR, E. M., Praxedes, S. C. (2018). Efeito da aplicação de biofertilizante líquido no desenvolvimento do sorgo irrigado com água salobra. **Científica**, v. 46, n. 4, p. 380-397, 2018.
- SOUZA, D. **Olericultura**. Apostila. Técnico em agricultura (professor Durval Souza). Instituto Formação. 2013.
- SUINAGA, F.A.; BOITEUX, L.S; CABRAL, C.S.; RODRIGUES, C.S. **Desempenho produtivo de cultivares de alface crespa**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 15p, ISSN 1677-2229. 2013.

VIANA, G. D. M. **Metabolismo fisiológico e bioquímico em plantas jovens de Euterpe Oleracea submetidas ao déficit hídrico.** Orientador: Allan Klynger da Silva Lobato. 2015. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Paragominas, PA, 2015.