



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

**BRUNA ALVES DA SILVA**

**BIOESTIMULANTE A BASE DE ALGAS MARINHAS E ÁCIDOS FÚLVICOS**  
**COMO ATENUADOR DO ESTRESSE SALINO EM SOJA**

**FORTALEZA**

**2021**

BRUNA ALVES DA SILVA

BIOESTIMULANTE A BASE DE ALGAS MARINHAS E ÁCIDOS FÚLVICOS COMO  
ATENUADOR DO ESTRESSE SALINO EM SOJA

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  
Coorientador: MS. Johny de Souza Silva

FORTALEZA

2021

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

---

S578b Silva, Bruna Alves da.  
Bioestimulante a base de algas marinhas e ácidos fúlvicos como atenuador do estresse salino em soja /  
Bruna Alves da Silva. – 2021.  
71 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências  
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.  
Coorientação: Prof. Me. Johny de Souza Silva.

1. Glycine max (L.) Merrill. 2. Salinidade. 3. Atividade fotossintética. 4. Estimulante de crescimento. I.  
Título.

CDD 630

---

BRUNA ALVES DA SILVA

BIOESTIMULANTE A BASE DE ALGAS MARINHAS E ÁCIDOS FÚLVICOS COMO  
ATENUADOR DO ESTRESSE SALINO EM SOJA

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: 27/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Ms. Johny de Souza Silva (Coorientador)  
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Ms. Rafael Santiago da Costa  
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Flávio Barcellos Cardoso (Membro)  
Pesquisador US Borax Rio Tinto

A Deus,

Ao meu pai, Francisco (*In memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, acima de tudo, por sempre me mostrar o caminho certo.

A minha família, principalmente, a minha querida irmã Mônica que sempre me ajudou e apoiou mesmo quando eu quis desistir.

Ao meu pai, Francisco, (*In Memoriam*) que mesmo longe, eu sei que sempre esteve acreditando em mim. O TCC é seu.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

Agradeço aos meus amigos: Brenda, Rogério, Carol, Anderson, Ronaldo, Felipe, Lucas e Charles, pelo apoio durante a graduação.

Agradeço a Professora Raquel Miranda por ter me apresentado à Fisiologia Vegetal. Ao professor Patrik Luiz pela sua atenção e disponibilidade em me ajudar nos momentos em que precisei.

Gostaria de agradecer, especialmente, a professora e minha orientadora, Rosilene Oliveira Mesquita, que me estimulou na pesquisa e desenvolvimento do TCC.

Gostaria de agradecer a todos que de forma direta ou indireta participaram do experimento.

Agradeço aos integrantes do grupo GEEPEN: Johny, Rafael, Carol e Letícia.

Por fim, gostaria de agradecer ao meu coorientador Johny de Souza, Tomil Ricardo, e, especialmente, a Carolina Souza e a Professora Rosilene.

“O sertanejo é, antes de tudo, um forte.”

Euclides da Cunha

## RESUMO

A salinização dos solos é um fator limitante na produtividade mundial, e, culturas de grande importância econômica como a soja, apresentam reduções significativas no seu crescimento e desenvolvimento causados pelos efeitos deletérios da salinidade. Como forma de minimizar as perdas produtivas, novas práticas agrícolas vêm sendo desenvolvidas visando o melhor desempenho das culturas. Nesse sentido, o uso de bioestimulantes na agricultura pode ser uma alternativa para atenuar os efeitos do estresse salino em plantas. Dentre as composições de alguns bioestimulantes, está presente o extrato da algas marinhas (*Ascophyllum nodosum* (L)) e ácidos fúlvicos que se mostram promissores no melhor desempenho agrônômico das culturas. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a ação do bioestimulante composto por *Ascophyllum nodosum* (L) e ácidos fúlvicos aplicados em diferentes estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) no crescimento e fisiologia de plantas de soja submetidas a irrigação com água salina. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em vasos contendo 6 kg de solo sob delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (3 x 2) + 2 (três aplicações, dois níveis de salinidade, controle negativo (sem bioestimulante e com estresse), controle positivo (sem bioestimulante e sem estresse) e cinco repetições. Foram avaliados parâmetros biométricos (altura, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar e matérias secas), fisiológicos (potencial hídrico, trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, pigmentos fotossintéticos), bioquímicos (vazamento de eletrólitos e íons) e componentes produtivos. Os componentes biométricos e produtivos foram afetados pela salinidade. Nas plantas com estresse foram observados acúmulos de biomassa na parte aérea, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides. A razão  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  na aplicação V3 e V3/R1 foram inferiores as plantas sem estresse, evidenciando melhor eficiência metabólica nas plantas que receberam o bioestimulante. A melhor eficiência instantânea do uso da água nas plantas com e sem estresse foi superior na aplicação no V3 e V3/R1, e a eficiência intrínseca do uso da água também na aplicação V3 e V3/R1 em plantas com estresse, evidencia melhor absorção de  $\text{CO}_2$  com menor perda de água. A fotossíntese e transpiração nas plantas com estresse foram superiores nas aplicações nos estádios V3 e V3/R1/R4. A fotossíntese nas plantas sem estresse foi superior ao controle positivo em todas as aplicações. O bioestimulante apresentou resultados positivos na mitigação do estresse salino e potencializou o desempenho em plantas sem estresse.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. Salinidade. Estimulante de crescimento. Atividade fotossintética.

## ABSTRACT

Soil salinization is a limiting factor in world productivity, and crops of great economic importance such as soybeans show relevant reductions in their growth caused by the deleterious effects of salinity. As a way to minimize production losses, new agricultural practices have been developed aiming at better crop performance. In this sense, the use of biostimulants in agriculture can be an alternative to mitigate the effects of salt stress on plants. Among the compositions of some biostimulants, there is the extract of seaweed (*Ascophyllum nodosum* (L)) and fulvic acids that show promise for better agronomic performance of crops. The objective of this work was to evaluate the action of a biostimulant composed of *Ascophyllum nodosum* (L) and fulvic acids applied at different phenological stages (V3, V3/R1 and V3/R1/R4) on the growth and physiology of soybean plants subjected to irrigation with saline water (no stress and saline water irrigation with EC 5.0 dS.m<sup>-1</sup>). The experiment was carried out in a greenhouse in pots containing 6 kg of soil under a completely randomized design in a factorial scheme (3 x 2) + 2 (three applications, two levels of salinity, negative control (without biostimulant and with stress), positive control (no biostimulant and no stress) and five repetitions. Biometric parameters (height, number of leaves, diameter, leaf area and dry matter), physiological (water potential, gas exchange, chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments), biochemical (electrolyte, ion leakage) and productive components were evaluated. Biometric and productive components were affected by salinity. In plants under stress, accumulations of aerial biomass, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids were observed. The Na<sup>+</sup> / K<sup>+</sup> ratios in the V3 and V3/R1 application were lower than in plants without stress, showing better metabolic efficiency. The best instantaneous efficiency of water use in plants with and without stress was higher in the application in V3 and V3 / R1, and the intrinsic efficiency of water use also in the application V3 and V3 / R1 in plants with stress, shows better absorption of CO<sub>2</sub> with less water loss. Photosynthesis and transpiration in plants under stress were higher in applications at stages V3 and V3 / R1 / R4. Photosynthesis in plants without stress was superior to the positive control in all applications. The biostimulant showed positive results in the mitigation of salt stress and improved performance in plants without stress.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merril. Salinity. Growth stimulant. Photosynthetic activity

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Casa de vegetação onde o experimento foi realizado..... 23
- Figura 2 – Distribuição das unidades experimentais..... 23
- Figura 3 – Bioestimulante utilizado no experimento (FH Attivus®) ..... 24
- Figura 4 – Vaso com 6 kg de solo (A); inoculante utilizado no experimento (B); vaso após a realização do desbaste (C)..... 25
- Figura 5 – Aplicação de água destilada nos tratamentos controles (A) e aplicação do bioestimulante nos demais tratamentos (B)..... 26
- Figura 6 – Preparo das amostras (A); Fotômetro de chama utilizado no experimento (B); Leitura obtida dos teores de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> (C)..... 29
- Figura 7 – Leitura das trocas gasosas (A) aclimatação das plantas de soja para mensuração da fluorescência da clorofila *a* (B)..... 30
- Figura 8 – Altura (A) e diâmetro do caule (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 33
- Figura 9 – Número de folhas (A) e área foliar (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 33
- Figura 10 – Volume radicular (A) e comprimento radicular das plantas (B) (C) (da esquerda para a direita) V3 SE; V3 CE; V3/R1 SE; V3/R1 CE; V3/R1/R4 SE; V3/R1/R4 CE) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo 34

(com estresse e sem bioestimulante) CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente

- Figura 11 – Massa seca da parte aérea (A) e massa seca das raízes (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse CN = Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras diferentes diferem entre si estatisticamente..... 36
- Figura 12 – Área foliar específica (A) razão parte aérea raiz (B) razão de área foliar (C) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 37
- Figura 13 – Partição da biomassa em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). T1 = controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); T2 = controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante); T3 = V3 (sem estresse); T4 =V3 (com estresse); T5 = V3/R1 (sem estresse); T6 = V3/R1 (com estresse); T7 =V3/R1/R4 (sem estresse); T8 = V3/R1/R4 (com estresse) Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 38
- Figura 14 – Teores dos pigmentos de clorofila *b* (A), clorofila total (B) e carotenoides (C) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 40
- Figura 15 – Extravazamento de eletrólitos em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si 41

estatisticamente.....

Figura 16 – Potencial Hídrico em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 42

Figura 17 – Relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ (A) e Potássio na folha (KF) (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 43

Figura 18 – Fotossíntese *A* (A) Transpiração *E* (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 44

Figura 19 – Condutância estomática *g<sub>s</sub>* (A) Concentração interna de  $\text{CO}_2$  *C<sub>i</sub>* (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 45

Figura 20 – Razão  $C_i/C_a$  (A) e eficiência interna de carboxilação *E<sub>c</sub>* (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 46

- Figura 21 – Eficiência instantânea (A) e eficiência intrínseca do uso da água (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) CE = com estresse SE = sem estresse; CN = Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 46
- Figura 22 – Eficiência fotoquímica potencial (A) e rendimento quântico efetivo do PSI ( $\Phi_{FSII}$ ) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) CE = com estresse; SE = sem estresse; CN = Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 47
- Figura 23 – *quenching* fotoquímico (A) e *quenching* não-fotoquímico (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE= com estresse; SE= sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 48
- Figura 24 – Taxa de transporte de elétrons em plantas de soja submetidas ao estresse salino e a aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE= com estresse; SE= sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 49
- Figura 25 – Número de vagens (A) e comprimento das vagens (B) de plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4); CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP = controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) Letras distintas diferem entre si estatisticamente..... 50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja.....	18
Tabela 2	– Composição do bioestimulantes FH Attivus ® .....	25
Tabela 3	– Características químicas do solo antes da aplicação dos adubos.....	26
Tabela 4	– Análise de variância dos dados de altura (ALT) diâmetro do caule (DC) número de folhas (NF) área foliar (AF) volume radicular (VR) comprimento radicular (CMR) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.....	32
Tabela 5	– Análise de variância dos dados de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), área foliar específica (AFE), razão parte aérea raiz (RP/A), razão área foliar (RAF), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.....	35
Tabela 6	– Análise de variância dos dados de índice SPAD (SPAD), clorofila a (Clr a), clorofila b, clorofila total (ClrT) e carotenoides (Crt), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.....	39
Tabela 7	– Análise de variância dos dados de Extravazamento de eletrólitos (EE) de Potencial Hídrico ( $\square w$ ), Sódio na folha (NaF), razão (Na/F), Potássio na folha (KF), em plantas de soja submetidas ao estresse e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.....	41
Tabela 8	– Análise de variância dos dados de Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci), transpiração (E), razão Ci/Ca(Ci/Ca), eficiência instatanea do uso da água (EUA inst), eficiência intriseca do uso da água (EUA int), eficiência de carboxilação (EiC) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.....	44

- Tabela 9 – Análise de variância dos dados de eficiência fotoquímica potencial do FSII ( $F_v/F_m$ ), rendimento quântico efetivo do PSII ( $\Phi_{FSII}$ ), a taxa de transporte de elétrons (ETR), *quenching* fotoquímico (qP), *quenching* não-fotoquímico (qN), e taxa de transporte de elétrons (ETR), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza- CE, 2021..... 47
- Tabela 10 – Análise de variância dos dados de número de vagens (NV), comprimento das vagens (CV) e número de lóculos (NL), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza- CE, 2021..... 50

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1	<b>HIPÓTESE</b> .....	16
2	<b>OBJETIVO</b> .....	16
3.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	16
3.1.1	<i>Objetivo Específico</i> .....	16
4	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
4.1	<b>Aspectos Botânicos e Importância Econômica da Soja</b> .....	17
4.2	<b>Salinidade</b> .....	19
4.2.1	<i>Efeito do Estresse salino em plantas</i> .....	20
4.3	<b>Bioestimulante na agricultura</b> .....	21
5.	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
5.1	<b>Local do Experimento</b> .....	23
5.2	<b>Delineamento Experimental e Tratamentos</b> .....	23
5.3	<b>Material Vegetal e Tratos Culturais</b> .....	25
5.4	<b>Variáveis Analisadas</b> .....	27
5.4.1	<i>Variáveis Biométricas</i> .....	27
5.4.2	<i>Variáveis Fisiológicas</i> .....	29
5.4.3	<i>Variáveis Bioquímicas</i> .....	29
5.4.4	<i>Solutos Inorgânicos</i> .....	29
5.4.5	<i>Trocas Gasosas</i> .....	30
5.4.6	<i>Potencial Hídrico</i> .....	30
5.4.7	<i>Produção de vagens</i> .....	30
5.5	<b>Análise estatística, confecção dos gráficos e tabelas</b> .....	31
6	<b>RESULTADOS</b> .....	32
7	<b>DISCUSSÃO</b> .....	52
8	<b>CONCLUSÃO</b> .....	60
9	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma das principais commodities mundiais sendo cultivada em mais de 60 países. No Brasil, a cultura possui grande participação na economia devido as exportações do grão para o mercado internacional, e também na economia interna através dos seus subprodutos como: o farelo e o óleo vegetal. Além disso, a soja vêm sendo utilizada na indústria farmacêutica, plástico e na produção de biodiesel (CONAB, 2019).

Na safra 2019/2020, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de soja, com uma colheita estimada em 124,8 milhões de toneladas, superior 4,3% em relação à safra 2018/2019. A área cultivada com soja aumentou cerca de 3,0%, passando de 35.874 mil hectares para 36.949 mil hectares plantados (CONAB, 2020). Com a expansão de novas fronteiras agrícolas, a soja passou a ser cultivada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (BASSO et al., 2021).

No Nordeste Brasileiro, assim como em regiões áridas e semiáridas, são encontrados solos predominantemente acometidos por sais, em decorrência da elevada taxa de evapotranspiração e irregularidade pluvial. Em consequência disso, a prática da irrigação é uma forma de garantir a produção agrícola. No entanto, o manejo inadequado da irrigação, assim como a utilização de águas de baixa qualidade (salobras) são fatores que contribuem para a salinização de áreas irrigadas (AZEVEDO et al., 2017; PEREIRA et al., 2020; LESSA et al., 2021).

A salinização dos solos em todo mundo é uma das principais causas da redução da produtividade da soja e de demais culturas sensíveis ao elevado teor de sais (JIAO, et al., 2018). Os efeitos causados pela salinidade nas plantas são desencadeados pelos componentes osmótico e iônico (TAIZ et al., 2017), responsáveis por promover alterações no metabolismo vegetal, incluindo mudanças no status hídrico das plantas, redução da absorção de nutrientes, acúmulo em excesso de íons tóxicos nos tecidos, desbalanço hormonal, perda da eficiência fotossintética e alterações de várias vias metabólicas, afetando os rendimentos e a qualidade de sua produção (CHEN et al., 2019; DIAS et al., 2017; KUMAR et al., 2017; PRISCO et al., 2016).

As plantas glicófitas, como a soja, desenvolveram estratégias para se adaptar às condições de salinidade, uma das principais estratégias é a regulação osmótica celular. No entanto, a existência desses mecanismos ainda a torna susceptível a elevada concentração de sais no tecido foliar (MUNNS, 2002). Assim, adicionalmente a esse mecanismo, tem-se

estudado formas de atenuação dos efeitos deletérios da salinidade e entre as práticas agrícolas, vêm ganhando destaque a aplicação de bioestimulantes.

A definição de bioestimulante foi proposta em 2012, com o objetivo de padronizar e classificar substâncias em função da matéria prima e dos benefícios gerados por sua aplicação. Os bioestimulantes atuam na melhoria da eficiência nutricional, com seu efeito atenuador, melhoram os mecanismos de defesas da planta, aumentam o crescimento, melhorando as taxas fotossintéticas (ROSA, 2020). Dentre os principais componentes estão presentes biorreguladores e outras substâncias, como extratos de algas, ácidos húmicos, fúlvicos, reguladores de crescimento, aminoácidos, oligossacarídeos, citocininas, hormônios vegetais, betaínas e alginatos que aumentam a produtividade das lavouras (BULGARI, 2019; PEREIRA et al. 2020).

Portanto, tendo em vista o processo de salinização dos solos a nível mundial e o grande interesse econômico da cultura da soja, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a aplicação de bioestimulante a base de *Ascophyllum nodosum* e ácidos fúlvicos como atenuante do estresse salino no desenvolvimento e na ecofisiologia da soja.

## **2 HIPÓTESE**

O uso de bioestimulantes promovem melhorias nas respostas bioquímicas e fisiológicas em plantas de soja submetidas ao estresse salino.

## **3 OBJETIVOS**

### ***3.1 Objetivo Geral***

Avaliar as respostas do bioestimulante composto por *Ascophyllum nodosum* (L) e ácidos fúlvicos no crescimento, processos bioquímicos, fisiológicos e metabólicos em plantas de soja submetidas ao estresse salino e avaliar a eficiência das aplicações nos estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4).

#### ***3.1.1 Objetivos específicos***

- Avaliar as respostas bioquímicas e fisiológicas mediante aplicação do bioestimulante em condições de salinidade;
- Verificar se o bioestimulante atenua os efeitos deletérios do estresse salino;
- Determinar a melhor eficiência das aplicações nos estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4).

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Aspectos botânicos e importância econômica da soja

A soja é uma planta herbácea, anual, de porte ereto, pertencente à divisão das Angiospermas, classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max* (L.) Merrill. A cultura da soja apresenta características morfológicas que variam de acordo com a cultivar e com as condições do meio, a altura pode variar de 0,3 a 2,5 metros e seu ciclo completo de 70 dias para cultivares precoces e 200 dias para cultivares de desenvolvimento tardio (SEDIYAMA, 2015).

O sistema radicular está concentrado principalmente na camada de 0-20 cm do solo. A raiz é pivotante, com ramificações secundárias, onde é possível observar a presença de nódulos resultantes da interação simbiótica de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* capazes de fixar o nitrogênio atmosférico fornecendo-o a planta e recebendo em troca os hidratos de carbono. Já a parte aérea é constituída de um caule ou haste principal, composto ou não de ramificações primárias. As folhas são completas, de três tipos: duas cotiledonares, duas unifoliadas e folhas trifolioladas, no formato lanceolada estreita, lanceolada triangular, oval pontiaguda e oval arredondada, sendo que as dimensões foliares dependem do vigor da planta (EMBRAPA, 2001. SEDIYAMA, 2009; CÂMARA, 2014).

As flores são completas e axilares ou terminais, variando de 2 a 35 por racemo, do tipo papilionada, brancas, amarelas ou violáceas, segundo a cultivar (NEVES, 2011). O fruto é do tipo vagem com tamanho variando entre 25 a 75 mm, cada vagem contém de uma a cinco sementes (SEDIYAMA, 2009). Os hábitos de crescimento são divididos em determinado e indeterminado. No crescimento determinado, o crescimento vegetativo é paralisado com o início do florescimento, enquanto no crescimento indeterminado, o crescimento vegetativo ocorre simultaneamente aos estádios reprodutivos (CÂMARA, 2014).

Como a soja é uma cultura de grande importância econômica, os seus estádios fenológicos são bem caracterizados, de modo a contribuir na identificação das necessidades nutricionais, ciclo de doenças. Portanto, Fehr et al. (1971) propuseram o desenvolvimento fenológico em estádios vegetativos e reprodutivos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja.

Estádios vegetativos		
Estádios vegetativos	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas abertas
V2	Segundo nó	Primeiro trifólio aberto
V3	Terceiro nó	Segundo trifólio aberto
Vn	Enésimo nó	Enésimo nó com trifólio aberto antes da floração
Estádios reprodutivos		
Estádios reprodutivos	Denominação	Descrição
R1	Início da floração	Início da floração: até 50% das plantas com flor
R2	Florescimento pleno	Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas
R3	Início da formação de vagem	Vagens com até 1,5cm e presença de flores
R4	Vagem completamente desenvolvida	Maioria das vagens no terço superior com 2-4cm
R5.1	Formação dos grãos	Grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação.
R5.2	Formação dos grãos	Maioria das vagens com granação de 10%-25%
R5.3	Formação dos grãos	Maioria das vagens entre 25% e 50% de granação
R5.4	Formação dos grãos	Maioria das vagens entre 50% e 75% de granação
R5.5	Formação dos grãos	Maioria das vagens entre 75% e 100% de granação
R6	Grãos desenvolvidos	Vagens com granação de 100% e folhas verdes
R7	Início da maturação	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração madura
R9	Ponto de colheita	Ponto de colheita

Fonte: Adaptado de Fehr et al. (1971)

A soja atualmente é uma das principais leguminosas de grande importância no cenário econômico mundial. No Brasil, a soja é a cultura em maior extensão de área e volume de produção (CONAB, 2016). Nas safras 2019/2020 o Brasil foi o maior produtor mundial de soja, responsável por 35,44% da produção mundial. Este cenário se mantém positivo, segundo a CONAB (2021) é esperado uma produção de 135,86 milhões de toneladas, um aumento de 8,8% ou 11 milhões de toneladas superior a safra 2019/2020. O Brasil é o maior exportador

de soja, em 2021 as exportações já somam aproximadamente 48,31 milhões toneladas, 4,93% superior ao exportado de janeiro a maio de 2020 (CONAB, 2021).

A evolução da cultura da soja no território nacional se deve principalmente a abertura de novas fronteiras agrícolas e a demanda do mercado (BASSO et al., 2021). Isso se deve ao desenvolvimento de tecnologias adaptadas às condições brasileiras, e também, devido ao melhoramento genético da espécie, com a disponibilização de cultivares de alta produtividade de grãos, tolerantes às pragas e doenças e adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas (SANTOS et al., 2017).

## 4.2 Salinidade

A salinidade é um dos principais fatores da redução da produtividade das culturas em todo o mundo (SOUZA et al., 2021). Em regiões áridas e semiáridas a elevada evapotranspiração e os índices de precipitação baixos, requerem a prática da irrigação para garantir a produção agrícola. No entanto, o uso de águas de qualidade inferior e a falta de drenagem eficiente, contribuem para a elevação do teor de sais nas áreas agrícola (FIGUEIREDO et al., 2019)

O processo de salinização dos solos vem acelerando rapidamente e já ocupa cerca de 20% da área irrigada total do mundo (HASSAN et al., 2021). No Brasil, em torno de 2% dos solos do território nacional estão comprometidos por sais, concentrando-se principalmente na região Nordeste (FAO, 2015; GORJI; TANIK; SERTEL, 2015). Segundo Richards (1954), solos salinos possuem condutividade elétrica do extrato de saturação  $> 4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $\text{pH} < 8,5$ , e  $\text{PST} < 15 \%$ .

As plantas encontradas nesses ambientes de elevada concentração de sais e que são menos afetadas, são denominadas halófitas, essas plantas possuem mecanismo como a compartimentalização de íons no vacúolo de suas células o que possibilita a sua sobrevivência. As plantas menos tolerantes aos sais são classificadas como glicófitas (TAIZ et al., 2017). A soja (*Glycine max*), é uma cultura classificada como glicófito e moderadamente tolerante a salinidade (AYERS; WESTCOT, 1991). Todavia, quando submetida ao excesso de sais, sofre inibição no seu crescimento e redução da produtividade.

A salinidade é responsável por causar nas plantas distúrbios nas suas necessidades nutricionais (ALI et al., 2020a; KAYA et al., 2020). O elevado teor de sais provoca na planta efeitos deletérios na sua biomassa, fisiologia e metabolismo, a maior quantidade de sais na zona radicular gera perturbação no equilíbrio aquoso e iônico como toxicidade, (NIZAM, 2011; PARIHAR et al., 2015; LI et al., 2020).

#### ***4.2.1 Efeito do estresse salino nas plantas***

O estresse salino é responsável por afetar o crescimento e o metabolismo das plantas devido aos seus efeitos osmótico e iônico (TAIZ et al., 2017). A primeira fase do estresse salino corresponde ao efeito osmótico que ocorre nos estágios iniciais da exposição das plantas à salinidade (SILVEIRA et al., 2010). A exposição da planta a elevados teores de sais prejudica a absorção de água e nutrientes devido à redução dos potenciais osmótico e hídrico do ambiente radicular; assim, as plantas apresentam dificuldade ou ficam impossibilitadas de absorver a água sendo esse processo de estresse hídrico conhecido por seca fisiológica (ALVES et al., 2011; DIAS; BLANCO, 2010). Isso acarreta redução da abertura estomática, reduzindo a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a produção de fotoassimilados e a produtividade da planta (BERNSTEIN et al., 1993; MUNNS, 2002).

O segundo efeito do estresse salino é a toxicidade iônica. Os ânions Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e os cátions Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> são os principais íons relacionados que estimulam uma série alterações em processos metabólicos, incluindo a inativação de certas enzimas (KAYA et al., 2015; PARIDA, 2005; SAFDAR et al., 2019; ZAMIN; KHATTAK, 2017).

O excesso de cloreto e sódio no protoplasma ocasiona distúrbios na planta, afetando a fotofosforilação, a cadeia respiratória, a assimilação de nitrogênio, o metabolismo das proteínas e a redução na absorção de nutrientes minerais causando desbalanço nutricional (LARCHER, 2000; MUNNS, 2002; CARMONA, 2011). Os processos diretamente associados com a toxicidade iônica são a senescência e a morte celular programada, na folha a sintomatologia aparece na forma de clorose foliar devido a degradação da clorofila e o surgimento de pontos cloróticos no limbo foliar (SILVEIRA et al, 2010).

Os efeitos do estresse salino nas plantas sofrem variações de acordo com a espécie, a intensidade, o tempo de exposição ao sal e estágio fenológico. Para reduzir os efeitos deletérios do excesso de sais, as plantas desenvolveram mecanismos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos. Tais mecanismos são responsáveis por garantir a sobrevivência da planta ou atenuação dos efeitos negativos do estresse salino, pois protegem a funcionalidade do aparato fotossintético e facilitam a absorção de água e nutrientes (CANTABELLA et al., 2017; MUNNS; TESTER, 2008; PARIDA, 2005; SHUKLA et al., 2017).

Dentre os mecanismos, o ajustamento osmótico ocorre devido ao acúmulo de íons tóxicos no vacúolo e produção de solutos compatíveis no citosol, como carboidratos solúveis, aminoácidos livres, prolina livre, glicina betaína, trealose, poliálcoois e ácidos orgânicos

(BENDALY et al., 2016; FLOWERS; COLMER, 2015; MENEZES et al., 2017). As plantas também possuem um complexo sistema antioxidativo, enzimático ou não enzimático, mas que funcionam em conjunto, tentando manter o estado redox celular e eliminando o excesso de EROS (espécies reativas de oxigênio) (MUCHATE et al., 2016; VIGHI et al., 2017).

Além dos seus mecanismos de defesa da planta, existem práticas agrícolas que possibilitam à melhor eficiência nas repostas de estresses abióticos. Os bioestimulantes vêm sendo utilizados como forma de condicionar a planta a condições adversas, bem como, ativar mecanismos de repostas (MARIANI et al., 2017).

### **4.3 Bioestimulantes na agricultura**

Os estresses abióticos são as principais causas de redução da produtividade nas culturas, os seus efeitos causam alterações nos processos metabólicos e fisiológicos da planta, retardando o seu crescimento e desenvolvimento. Em consequência disso, têm se realizado pesquisas para desenvolver tecnologias, como a utilização de bioestimulantes, que permitam diminuir os efeitos adversos do campo e maximizar o rendimento produtivo (KERCHEV et al., 2020; PARADIKOVIĆ et al., 2019).

No Brasil, os bioestimulantes não possuem uma categoria específica, o que acaba dificultando a regulação e o registro desses produtos. Atualmente, os bioestimulantes são cadastrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em diferentes categorias como, regulador de crescimento vegetal, biofertilizante, dentre outros (MORAES, 2015).

Segundo Du Jardin (2015), bioestimulante é qualquer substância ou microorganismo aplicado em plantas afim de aumentar o aproveitamento do uso de nutrientes, assim como, de tolerar estresses abióticos, e ou, as características de qualidade da cultura, independente do seu conteúdo de nutrientes.

O uso de bioestimulantes na agricultura tem o objetivo de regular e modificar os processos fisiológicos das plantas para estimular o crescimento, atenuar os efeitos deletérios causados por estresses abióticos e elevar a produtividade (YAKHIN et al., 2017). Além disso, os bioestimulantes também desempenham um papel importante nas fases iniciais do desenvolvimento da planta, garantindo sua uniformidade e qualidade (SANTOS et al., 2019).

Os bioestimulantes podem conter em sua composição misturas de reguladores vegetais, micronutrientes, hormônios (auxinas, citocinina, giberelinas), aminoácidos, vitaminas, substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos) e extrato de algas (CAVALCANTE et al., 2020). Essas substâncias alteram e promovem respostas eficientes

nos processos metabólicos e fisiológicos, afim de reduzir danos causados por estresses abióticos, como: o aumento da divisão celular, síntese de clorofila, ação da fotossíntese, diferenciação das gemas florais, fixação e tamanho dos frutos, absorção de nutrientes e influência na produtividade (FRASCA et al., 2020).

De acordo com Bulgari et al., (2019), os bioestimulantes são classificados em categorias, conforme a sua composição: substâncias húmicas, extrato de algas, proteínas hidrolisadas e aminoácidos, microrganismos, nanopartículas e nanomateriais.

As substâncias húmicas estimulam a produção de hormônios vegetais e afetam de maneira positiva os mecanismos fisiológicos do desenvolvimento da planta (SILVA et al., 2011). Os ácidos fúlvicos presentes nas substâncias húmicas fazem parte da matéria orgânica do solo, são compostos por grupos fenólicos e grupos carboxílicos com estruturas aromáticas de tamanho reduzidos e que, em consequência disso, garantem melhor solubilidade em água e maior capacidade de troca de cátions (CTC), estimulando o crescimento de raízes, folhas e brotos, além de atuar no aumento da respiração, fotossíntese, conteúdo de clorofila e promover a absorção de íons e a produção de ATP (CANELLAS et al., 2015; CALVO et al., 2014 ; ROSA et al., 2021).

A aplicação de bioestimulantes compostos por extrato de algas marinhas vêm se mostrando eficiente em várias culturas, como no trigo, batata e soja, como mostram Klahold et al., (2006), Ávila et al., (2008), Campos et al., (2008) e Backes et., (2017). O extrato de algas possui macro e micronutrientes, além de fitohormônios (auxinas, citocinas e giberelinas), capazes de estimular o crescimento das plantas de forma eficiente (GÓRKA, 2018). A alga *Ascophyllum nodosum* apresenta resultados positivos em plantas submetidas a estresses abióticos, favorecendo a expressão do potencial genético das plantas devido a alterações dos processos fisiológicos, estimulando o equilíbrio hormonal, a absorção de nutrientes, desenvolvimento das raízes, melhorando a condutância estomática e a atividade fotossintética (SILVA et al., 2008; SANTOS et al., 2013; GALINDO et al., 2019).

Bioestimulantes compostos por substâncias húmicas, ácidos fúlvicos e extrato da alga *Ascophyllum nodosum* demonstram resultados promissores em plantas de soja submetidas ao estresse hídrico por promoverem aumento na condutância estomática, ajustamento osmótico e aumento na atividade fotossintética e rápido reestabelecimento do potencial hídrico foliar (MELO et. al. 2021; ROSA, 2020). No entanto, o estudo sobre os mecanismos de atenuação de bioestimulantes em plantas de soja submetidas ao estresse salino são escassos, assim sendo importante analisar a ação desses compostos bem como seus efeitos na planta.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 1) entre os meses de novembro de 2020 e janeiro de 2021, na Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, localizada em Fortaleza (3°43'02" S, 38° 32'35" W, 12 m do nível do mar), Estado do Ceará, Brasil, com temperatura variando de 30 a 34°C.

Figura 1 - Casa de vegetação onde o experimento foi realizado



Fonte: Autora (2020)

### 5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial  $(3 \times 2) + 2$ ; o primeiro fator diz respeito as aplicações do bioestimulante nas fases fenológicas da cultura: V3, V3/R1 e V3/R1/R4, o segundo fator corresponde a condutividade elétrica da água de irrigação, CE 0,38 dS m<sup>-1</sup> (controle) e CE 5,0 dS m<sup>-1</sup> (salina), mais dois controles, um positivo (CE 0,38 dS/m<sup>-1</sup> e sem bioestimulante) e outro negativo (CE 5,0 dS m<sup>-1</sup> e sem bioestimulante), com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais (Figura 2).

Figura 2- Distribuição das unidades experimentais



Fonte: Autora (2020)

O Bioestimulante utilizado foi o FH ATTIVUS (Figura 3) que possui em sua composição compostos naturais (algas marinhas e ácidos fúlvicos) e nutrientes (Tabela 2). A dose  $0,25 \text{ kg ha}^{-1}$  do bioestimulante foi aplicada de acordo com a recomendação do fabricante para a soja e por experimentos realizados anteriormente. Para a imposição do estresse salino a condutividade elétrica (CE) foi gradualmente elevada de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  até alcançar a CE de  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo irrigadas por 2 dias nessa CE. Para a caracterização do estresse salino foi realizado uma solução composta por três sais: cloreto de sódio (NaCl), cloreto diidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e o cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), na proporção de 7:2:1, obedecendo-se à relação:  $\text{mmolc L}^{-1} = \text{CEa} \times 10$ , conforme Rhoades et al. (1992).

Figura 3 – Bioestimulante utilizado no experimento (FH Attivus ®)



Fonte: Autora (2020)

Tabela 2 - Composição do bioestimulantes FH Attivus ®

Nutrientes (%)									Compostos Naturais (%)
N	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	<i>Ascophyllum nodosum</i> + ácidos fúlvicos
2	1	3,6	0,1	0,04	0,05	0,1	0,1	0,2	

Fonte: Fertilizantes Heringer

Os tratamentos foram distribuídos pela quantidade de aplicações e pelos níveis de salinidade: (T1) controle negativo; (T2) controle positivo; (T3) aplicação no V3 - sem estresse; (T4) aplicação no V3 - com estresse; (T5) aplicação no V3 e R1 - sem estresse; (T6) aplicações no V3 e R1 - com estresse; (T7) aplicações no V3, R1 e R4 - sem estresse e (T8) aplicações no V3, R1 e R4 - com estresse.

### 5.3 Material vegetal e tratos culturais

As sementes de soja Monsoy 8349 IPRO (grupo de maturação 8.3, de hábito de crescimento determinado, flor roxa, resistente a acamamento) foram previamente sanitizadas e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Posteriormente cinco sementes foram semeadas em vasos plásticos contendo 6 kg de solo, com desbaste aos sete dias após a semeadura (DAS) mantendo uma planta em cada vaso (Figura 4).

Figura 4 – Vaso com 6 kg de solo (A) inoculante utilizado no experimento (B) vaso após a realização do desbaste (C)



Fonte: Autora (2020)

O solo foi coletado no Campo Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) situado na cidade de Pacajus, Ceará (CE) e classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA et al., 2002). A capacidade de retenção de água (CRA)

foi determinada conforme descrito por Souza et al. (2000), sendo considerada a diferença entre o peso do solo úmido após a saturação e drenagem livre, e o peso do solo seco ao ar.

De acordo com a recomendação nutricional da cultura e análise química do solo (Tabela 3), a adubação com macro e micronutrientes foi realizada em todos os tratamentos segundo a metodologia de Fachin et al. (2008), sendo adicionado em cada vaso 1,88 g de superfosfato triplo, 1,54 g de cloreto de Potássio, 5 g de nitrato de Potássio, 3,33 g de sulfato de Magnésio, 14,3 mg de Ácido bórico, 41,2 mg de sulfato de manganês, 16,3 de sulfato de cobre, 61,7 mg de sulfato de zinco e 0,56 mg de ácido molíbdico

Tabela 3 - Características químicas do solo antes da aplicação dos adubos

MO	P	K	Mg	Ca	Na	H+Al	SB	CTC	V	PST	pH	CE
(g/dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )	------(mmolc/dm <sup>3</sup> )-----						------(%)-----		(dS/m)		
3,6	3	0,37	3,6	5,4	0,18	8	9,37	17,37	60	1	6,4	1,11

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2018).

A dose 0,25 kg ha<sup>-1</sup> do bioestimulante foi dissolvida em água destilada e aplicada com auxílio de um pulverizador manual de compressão com capacidade para 1,5 L. A primeira aplicação foi realizada quando as plantas estavam no estágio V3 (15 DAS), antes da imposição do estresse salino. O estresse salino foi imposto no estágio fenológico V4 (20 DAS). A irrigação foi realizada diariamente sendo mantido o solo a 80% da CRA. A solução salina foi aplicada no solo por seis dias e no sétimo dia foi aplicado uma lâmina de lixiviação, 25% superior a demanda da cultura, a fim de reduzir o acúmulo de sais no solo (MACÊDO et al., 2007), sendo esse procedimento repetido ao longo de todo o experimento. A segunda aplicação do bioestimulante foi realizada no estágio R1 (29 DAS), e a terceira aplicação foi realizada no R4, (41 DAS). Os controles foram pulverizados apenas com água destilada (Figura 5).

Figura 5 – aplicação de água destilada nos tratamentos controles (A) e aplicação do bioestimulante nos demais tratamentos (B)



Fonte: Autora (2020)

## 5.4 Variáveis analisadas

### 5.4.1 Variáveis biométricas

As análises biométricas foram realizadas ao longo do experimento, sendo a primeira realizada quando as plantas já estavam submetidas ao estresse. Aos 24 DAS foi realizada a primeira avaliação biométrica, onde foram mensurados a altura da planta (ALT), com o auxílio de uma régua graduada, o diâmetro do caule (DC), com o auxílio de um paquímetro digital e o número de folhas (NF), sendo contabilizadas as completamente expandidas.

A segunda e terceira avaliações foram realizadas aos 38 e 52 DAS respectivamente. Ao final do experimento quando as plantas estavam com 65 DAS, as mesmas foram coletadas para a análise da área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), comprimento da raiz (CR) e volume da raiz (VR)

A área foliar (AF) foi determinada através de um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA). O comprimento da raiz foi mensurado por uma régua graduada no dia da coleta. O volume de raiz foi medido pelo deslocamento de água provocado pela completa introdução das raízes em uma proveta graduada (Basso, 1999) parcialmente preenchida com volume conhecido de água. A massa seca da parte aérea e raiz foram obtidas após secagem em estufa em 65 °C, até atingir a massa seca constante e em seguidas pesadas separadamente em balança de precisão. A massa seca da parte aérea foi determinada pela soma da massa seca das folhas, caule e vagens.

A partir da obtenção desses dados foram calculados a razão de área foliar (RAF -  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ), área foliar específica (AFE- $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ), razão raiz/parte aérea (RPA), razões de massas do caule (RMC  $\text{g.g}^{-1}$ ), raiz (RMR  $\text{g.g}^{-1}$ ), folha (RMF  $\text{g.g}^{-1}$ ) e vagem (RMV  $\text{g.g}^{-1}$ ). Para as variáveis de partição de biomassa (RMC, RMF, RMR, RMV) foi realizado teste de Scott – Knot.

#### 5.4.2 Índice relativo de clorofilas e pigmentos fotossintéticos

A estimativa da clorofila foi obtida por meio do índice SPAD empregando o clorofilômetro portátil SPAD-502 (Konica Minolta Corporation, Osaka, Japão).

Os teores dos pigmentos cloroplastídicos (clorofilas *a*, *b*, total, e carotenoides) foram determinadas segundo a metodologia descrita por Wellburn (1994). Foram coletados três discos foliares de 1 cm de diâmetro, sendo imediatamente acondicionados dentro de frascos revestidos com papel aluminizado contendo 3 mL de solução de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com  $\text{CaCO}_3$ . Para a análise, as amostras foram incubadas a 65 °C em banho-maria por 30 min. Após esse período os frascos foram retirados, colocados em bancada até atingir a temperatura ambiente, e em seguida os discos foliares foram retirados e o extrato de pigmentos utilizado para a determinação da absorvância em espectrofotômetro de luz visível nos comprimentos de onda: 665, 649 e 480 nm.

Posteriormente, os discos foliares foram lavados com água destilada, e secos em estufa a 60 °C, até atingir massa constante. Os teores de clorofila *a* (*Ca*), clorofila *b* (*Cb*), clorofila total (*CT*) e carotenoides (*CAR*) foram calculados com as seguintes equações:

$$Ca = (12,47 \times A665) - (3,62 \times A649)$$

$$Cb = (25,06 \times A649) - (6,5 \times A665)$$

$$CT = (7,15 \times A665) + (18,71 \times A649)$$

$$\text{Carotenoides} = (1000 \times A480 - 1,29 \times Ca - 53,78 \times Cb)/220$$

Em que *A* representa a absorvância nos respectivos comprimentos de onda, sendo o resultado da fórmula expresso em  $\text{mg g}^{-1} \text{MS}$ .

#### 5.4.3 Danos de membranas

O nível de dano provocado pelo estresse salino foi determinado através do extravazamento de eletrólitos (EE). Foi seguida a metodologia descrita por Singh et al. (2007), onde foram retirados 10 discos foliares e colocados em tubos de ensaio contendo 10 mL de água desionizada e mantidos em repouso em temperatura ambiente por 2h. Após esse

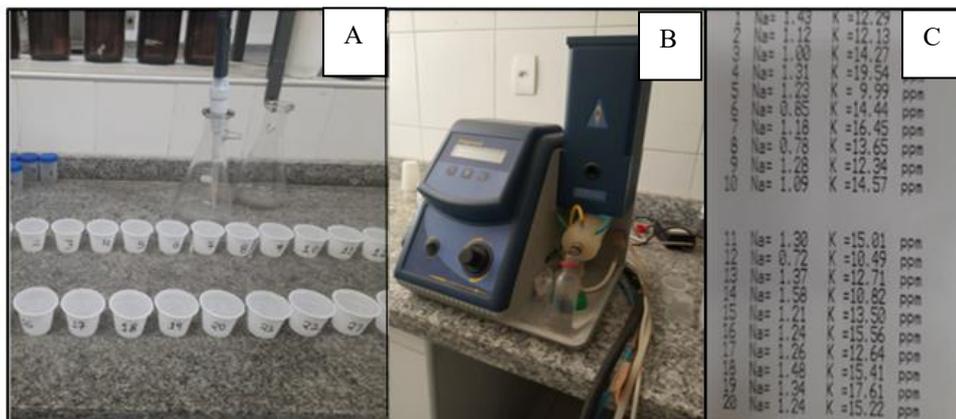
período foi determinada a condutividade elétrica inicial (CE1), através de um condutivímetro de bancada. Em seguida, os tubos contendo os discos foliares foram aquecidos a 95° C, por 30 minutos em banho maria, para a leitura da condutividade elétrica final (CE2). O extravasamento de eletrólitos (EE) foi estimado através da equação:

$$EE (\%) = \frac{CE1}{CE2} \times 100$$

#### 5.4.4 Solutos inorgânicos

O extrato utilizado para a determinação dos teores dos íons potássio (K<sup>+</sup>) e sódio (Na<sup>+</sup>), foi preparado através da adição de 0,2 g do pó das folhas em tubos de ensaio contendo água destilada, realizando-se a incubação deles em banho-maria a 65 °C por 1 h, com agitações a cada 15 min. Posteriormente, foi filtrado em papel de filtro e os íons foram quantificados no sobrenadante. Os teores de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> foram quantificados em um fotômetro de chama (modelo: DMG2-V7j) (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1989), sendo os resultados expressos em mg g<sup>-1</sup> MS. Com os dados obtidos foi calculado a razão Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> (Figura 6)

Figura 6 – Preparo das amostras (A) Fotômetro de chama utilizado no experimento (B) Leitura obtida dos teores de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> (C)



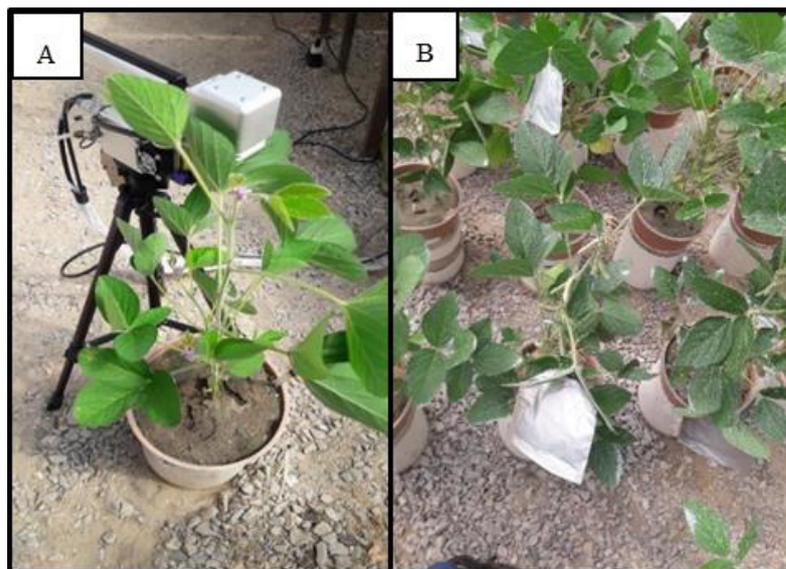
#### 5.4.4 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

A taxa fotossintética líquida ( $A$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e razão entre concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) (Figura 7A), foram realizadas em quatro avaliações aos 26, 32, 43 e 49 DAS, entre

9:00 e 12:00 horas, na terceira folha completamente expandida, utilizando o analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, Li-Cor®, Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA), com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ( $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração constante de  $\text{CO}_2$  (400 ppm) e temperatura e umidade ambiente. Com os dados obtidos com o IRGA, tamb\u00e9m foi poss\u00edvel calcular a efici\u00eancia do uso da \u00e1gua instant\u00e2nea (EUA inst.) e intr\u00ednseca (EiUA), e a efici\u00eancia instant\u00e2nea de carboxila\u00e7\u00e3o (EiC)

A fluoresc\u00eancia da clorofila *a* foi mensurada com o analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, Li-Cor®), na terceira folha completamente expandida ap\u00f3s um per\u00edodo de aclima\u00e7\u00e3o de 30 minutos (Figura 7B)

Figura 7 - leitura das trocas gasosas (A) aclima\u00e7\u00e3o das plantas de soja para mensurar a fluoresc\u00eancia da clorofila *a* (B)



Fonte: Autora (2020)

#### 5.4.6 Potencial h\u00eddrico

O potencial h\u00eddrico foliar ( $\psi_w$ ) foi avaliado 30 dias ap\u00f3s a imposi\u00e7\u00e3o do estresse, aos 50 DAS, em folhas completamente expandidas a partir do \u00e1pice com aux\u00edlio de c\u00e2mara de press\u00e3o do tipo Scholander (*Soil Moisture Equipment Corporation*, 3005, Santa Barbara, CA, EUA) (SCHOLANDER et al., 1965).

#### 5.4.7 Produ\u00e7\u00e3o de vagens

As variáveis produtivas coletadas ao final do experimento foram: o comprimento médio da vagem (CMV), número de vagens por planta (NVP) e número de lóculos (NL)

### **5.5 Análise estatística, confecção dos gráficos e tabelas**

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), o teste de normalidade e homogeneidade de Shapiro-Wilk e quando significativo pelo teste F, foram submetidos a análise de comparação de médias pelo teste de Tukey. Já os fatores adicionais (controle positivo e negativo) foram comparados aos demais tratamentos através do teste de médias Dunnet, considerando 5% de probabilidade ( $p < 0.05$ ). Para análise estatística foi utilizado o programa computacional RStudio, e para confecção dos gráficos utilizou-se programa SigmaPlot versão 11.0.

## 6 RESULTADOS

Realizada a análise de variância, o resultado obtido mostrou que a altura apresentou interação significativa entre os fatores estresse e aplicação ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ). O diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e volume radicular apresentaram efeito significativo no fator estresse. Já o comprimento radicular apresentou resposta significativa aos fatores estresse e aplicação ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ) (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise de variância dos dados de altura (ALT) diâmetro do caule (DC) número de folhas (NF) área foliar (AF) volume radicular (VR) comprimento radicular (CMR) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio					
		ALT	DC	NF	AF	VR	CMR
Apl. (A)	2	12,01 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	43628 <sup>ns</sup>	25,83 <sup>ns</sup>	20705 <sup>**</sup>
Est. (E)	1	4465 <sup>ns</sup>	48803 <sup>**</sup>	6,26 <sup>*</sup>	4358 <sup>**</sup>	8333,33 <sup>**</sup>	4665,02 <sup>**</sup>
Int.(A)x(E)	2	72,59 <sup>*</sup>	11,63 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	2650,60 <sup>ns</sup>	25,83 <sup>ns</sup>	24,30 <sup>ns</sup>
Adc x Fatr	1	1,44 <sup>ns</sup>	39,43 <sup>ns</sup>	5,12 <sup>ns</sup>	11437 <sup>**</sup>	1430,01 <sup>**</sup>	1162,54 <sup>**</sup>
Residuo	28	19,79	11,00	1,233	32627	21,68	17,65
Total	34	-	-	-	-	-	-
CV (%)		9,03	14,55	13,06	10,28	15,49	11,00

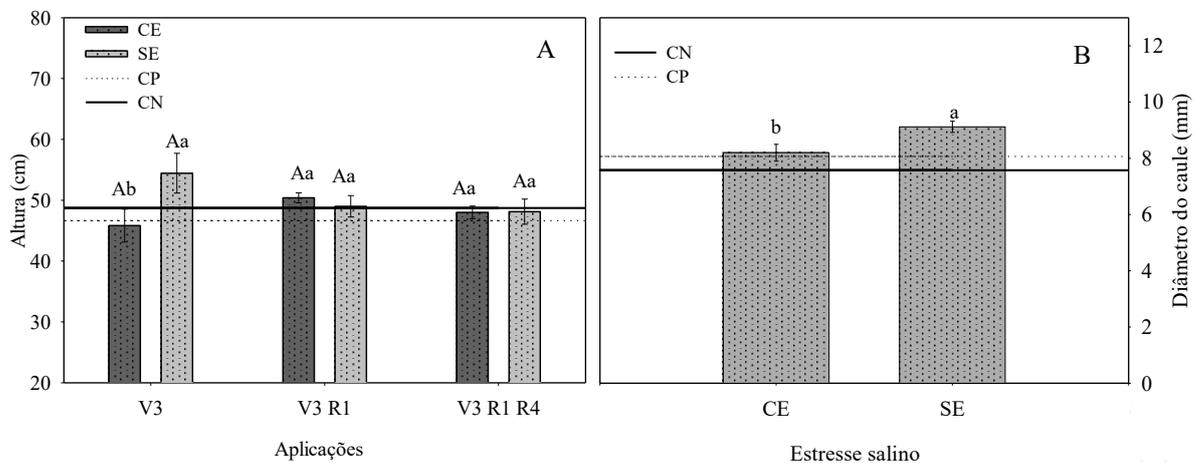
ns, \*, \*\*: não significativo; significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

Para a variável altura (Figura 8A) verificou-se que as aplicações do bioestimulante em plantas sem estresse apresentou médias estatisticamente iguais. Dentre as aplicações no tratamento com estresse, a realizada apenas no estágio fenológico V3 apresentou altura inferior aos demais tratamentos (45,84 cm). Já quando a aplicação foi realizada no V3/R1 as plantas obtiveram incremento de 9,05% em sua altura. Posteriormente, na aplicação no R4, a altura reduziu 4,76%. No tratamento sem estresse, a maior altura encontrada foi no V3 (54,44 cm), a mesma foi superior 14,22% ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) obteve 48,72 cm de altura.

No tratamento com estresse salino, o diâmetro do caule (Figura 8B) foi 10,09% inferior ao tratamento sem estresse. Quando compara-se as aplicações realizadas no estresse e

o controle negativo (com estresse e sem bioestimulante), as mesmas obtiveram resultado 8,32% superior. No tratamento sem estresse o diâmetro do caule foi superior 11,40% em comparação ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

Figura 8– Altura (A) e diâmetro do caule (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.

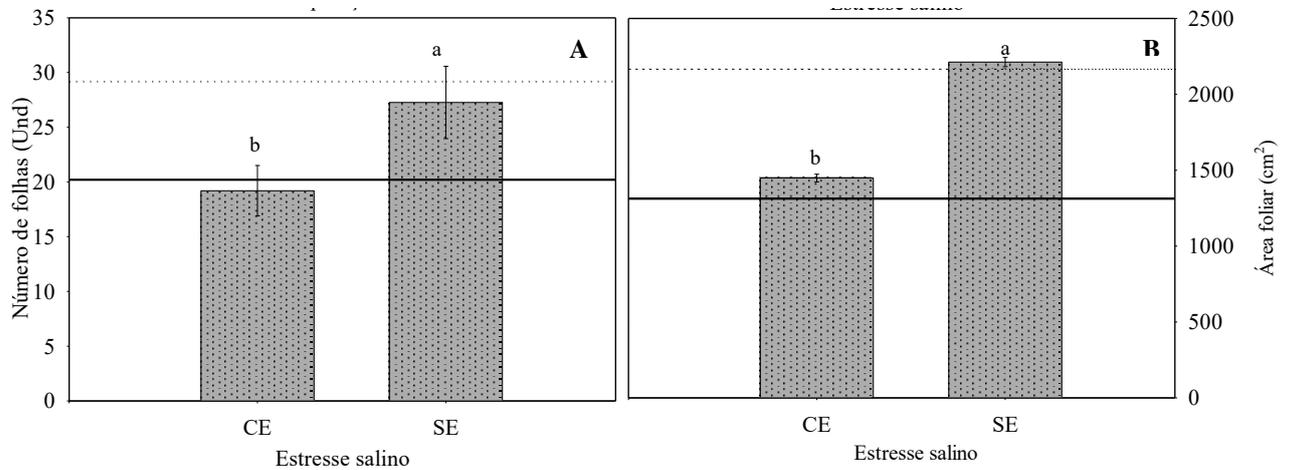


Em relação ao número de folhas (Figura 9A), as plantas sem estresse apresentaram resultado 29,57% superior ao tratamento com estresse. Quando observou-se os tratamentos e os controles, o negativo (com estresse e sem bioestimulante), foi superior 4,95% às plantas com estresse e o controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) foi superior 6,64% às plantas sem estresse.

A área foliar (Figura 9B) em plantas sem estresse foi 34,56% superior às plantas com estresse. Quando observou-se as médias dos tratamentos com estresse, os resultados foram superiores cerca de 9,27% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e, o tratamento sem estresse foi superior 2,02% ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

Figura 9 – Número de folhas (A) e área foliar (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem

bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



O volume radicular (Figura 10A) em plantas sem estresse foi 67,57% superior ao de plantas com estresse. O tratamento com estresse foi 10,00% superior ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante). O controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) superior 1,34% ao tratamento sem estresse.

Em relação ao comprimento radicular (Figura 10B e 10C) a aplicação realizada nos três estádios fenológicos (V3/R1/R4) no tratamento com e sem estresse, apresentaram valores de 24,00% e 7,08 % superiores ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e positivo (sem estresse e sem bioestimulante), respectivamente.

Figura 10 – Volume radicular (A) e comprimento radicular das plantas (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.

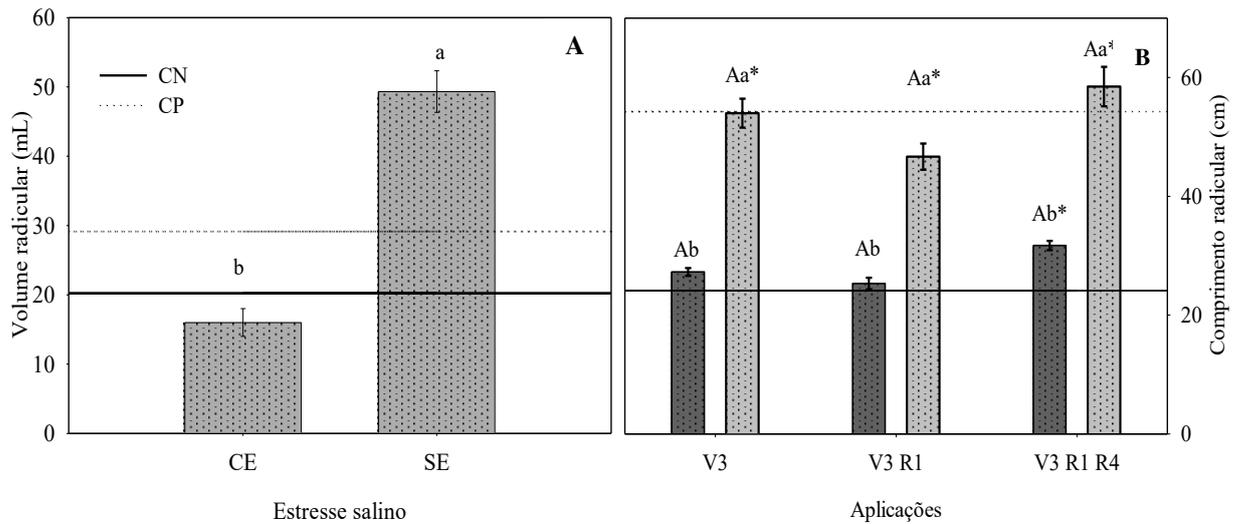


Figura 10C – Comprimento radicular em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante nos estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) (da esquerda para a direita) V3 SE; V3 CE; V3/R1 SE; V3/R1 CE; V3/R1/R4 SE; V3/R1/R4 CE; CN= Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) CP=Controle Positivo (sem estresse e sem bioestimulante. SE = sem estresse; CE= com estresse.



Fonte: Autora (2021)

Realizada a análise de variância, observou-se que as variáveis massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, razão parte aérea raiz e razão área foliar apresentaram efeito significativo do fator estresse ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ). Já a área foliar específica, apresentou efeito significativo na interação ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise de variância dos dados de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), área foliar específica (AFE), razão parte aérea raiz (RP/A), razão área foliar (RAF), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.

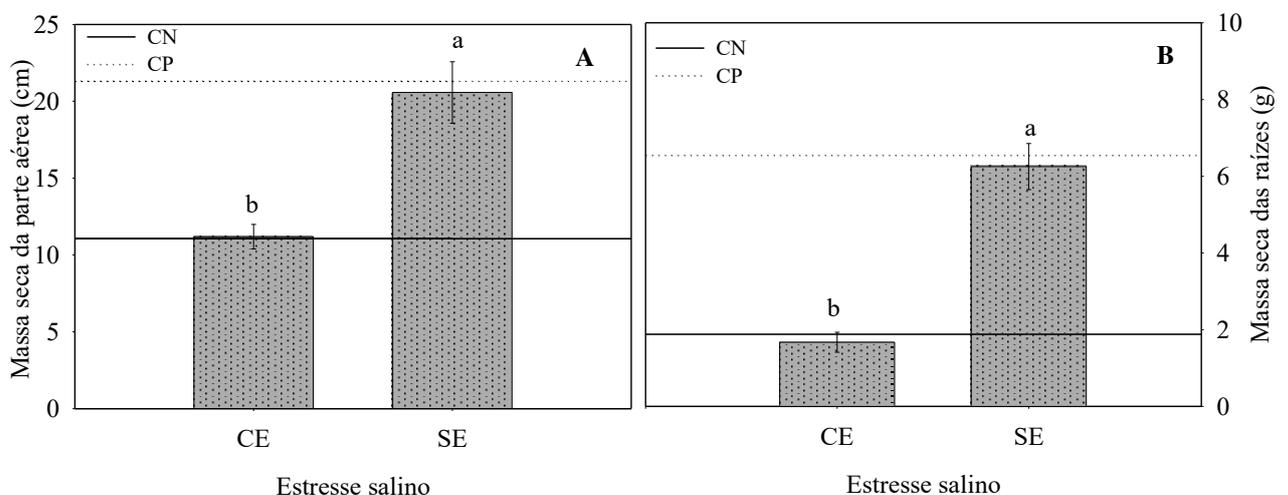
FV	GL	Quadrado Médio				
		MSPA	MSR	AFE	RP/A	RAF
Apl. (A)	2	3,070 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	5422,14*	0,001 <sup>ns</sup>	32,64 <sup>ns</sup>
Est. (E)	1	661,94**	157,82**	2163,52**	0,174**	6710,01**
Int.(A)x(E)	2	4,94 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	92,61*	0,002 <sup>ns</sup>	12,58 <sup>ns</sup>
Adc x Fatr	1	99,20**	18,48**	924,65 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	123,11 <sup>ns</sup>
Residuo	28	2,45	1,85	222,95	0,004	77,49
Total	34	-	-	-	-	-
CV (%)		10,32	37,09	8,40	29,14	8,93

ns; \*; \*\*: não significativo; significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

Em relação a massa seca da parte aérea (Figura 11A), o tratamento sem estresse foi 45,65% superior ao tratamento com estresse. O tratamento com estresse foi superior 1,07% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e, o controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante), foi 3,52% superior ao tratamento sem estresse.

A massa seca das raízes (Figura 11B) foi 73,24% superior em plantas sem estresse a de plantas com estresse. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e positivo (sem estresse e sem bioestimulante) foram superiores cerca de 11,17% e 4,58% em comparação ao tratamento com e sem estresse, respectivamente.

Figura 11 – Massa seca da parte aérea (A) e massa seca das raízes (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



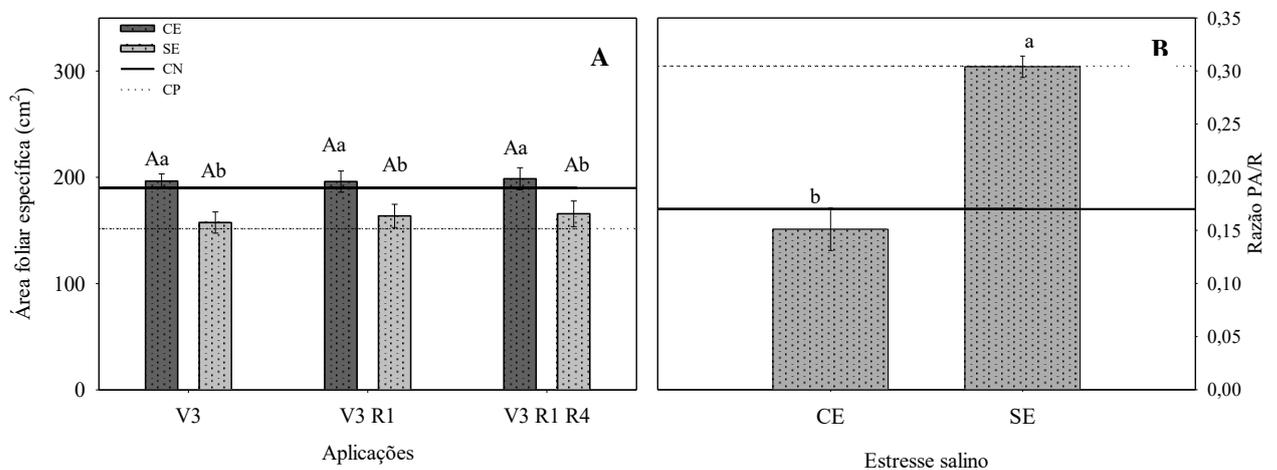
A interação da área foliar específica (Figura 12 A) e os fatores, mostrou que, em plantas sem estresse a variável foi crescente de acordo com a aplicação do bioestimulante.

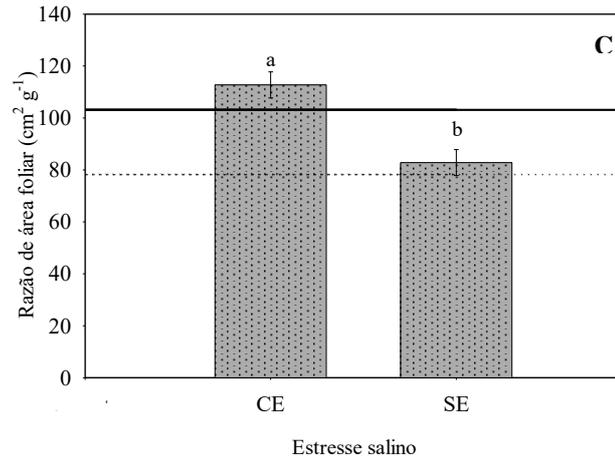
A aplicação realizada no estádios V3/R1/R4 foi superior 7,88% ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Em plantas com estresse observou-se que, a aplicação V3/R1 obteve maior média de área foliar específica, e a mesma foi 7,26% superior ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante).

Em relação a razão parte aérea raiz (Figura 12B), o tratamento com estresse foi inferior 12,58% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante). A média em plantas sem estresse foi de 0,304 g.g e do controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) 0,305 g.g.

Na razão de área foliar (Figura 12C), o tratamento com estresse foi superior 8,68% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante). No tratamento sem estresse, o resultado foi 5,40% superior ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

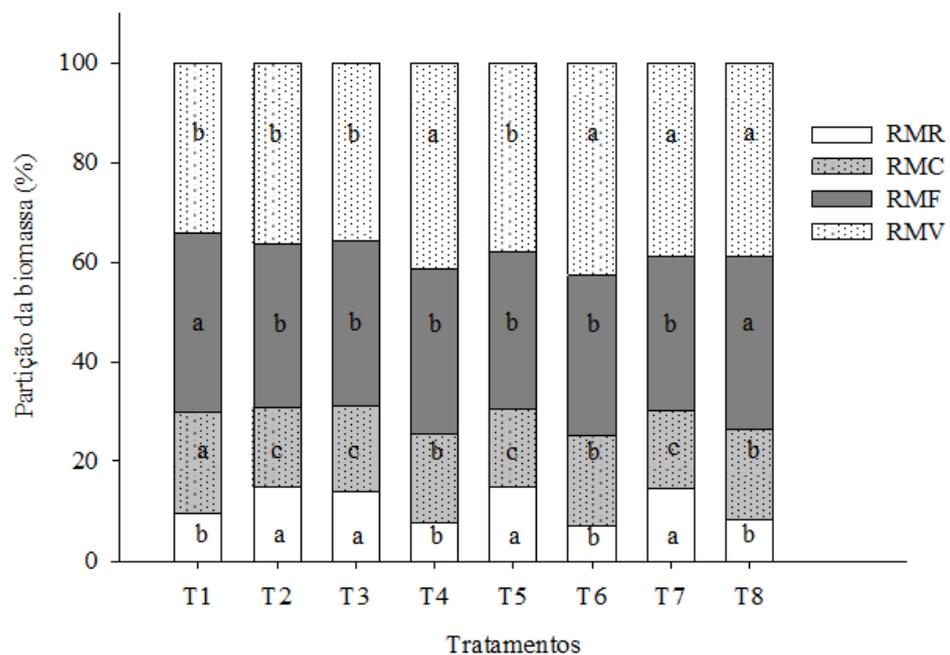
Figura 12– Área foliar específica (A) razão parte aérea raiz (B) razão de área foliar (C) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.





Com relação a partição de biomassa, de acordo com a figura 13, percebe-se que em plantas do controle negativo as variáveis, RMF e RMC, foram superiores dentre as demais aplicações, com e sem estresse e ao controle positivo. Na RMR, as maiores médias foram obtidas nas aplicações sem estresse e no controle positivo. Já na RMV, as aplicações realizadas no V3 e V3/R1 em plantas com estresse, apresentaram médias superiores aos demais tratamentos e ao controle positivo e negativo.

Figura 13 – Partição da biomassa em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). T1 = controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); T2 = controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante); T3 = V3 (sem estresse); T4 =V3 (com estresse); T5 = V3/R1 (sem estresse); T6 = V3/R1 com estresse; T7 =V3/R1/R4 (sem estresse); T8 = V3/R1/R4 (com estresse). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



O resultado da análise de variância mostrou que o índice SPAD e o teor da clorofila *a* não apresentaram resultados significativos. Nas variáveis clorofila *b*, total e carotenoides apresentaram interação significativa entre o estresse a aplicação e o estresse salino (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise de variância dos dados de índice SPAD (SPAD), clorofila *a* (Clr a), clorofila *b*, clorofila total (ClrT) e carotenoides (Crt), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		SPAD	Clr a	Clr b	ClrT	Crt
Apl. (A)	2	6,07 <sup>ns</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	4,89 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>
Est. (E)	1	7,10 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	36,81 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
Int.(A)x(E)	2	5,17 <sup>ns</sup>	3,98 <sup>ns</sup>	11,97**	2,37*	3,39**
Adc x Fatr	1	0,13 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	2,18 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Residuo	28	8,21	1,38	2,65	6,82	0,880
Total	34	-	-	-	-	-
CV (%)		6,98	26,76	27,71	26,54	27,46

ns; \*, \*\*: não significativo; significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

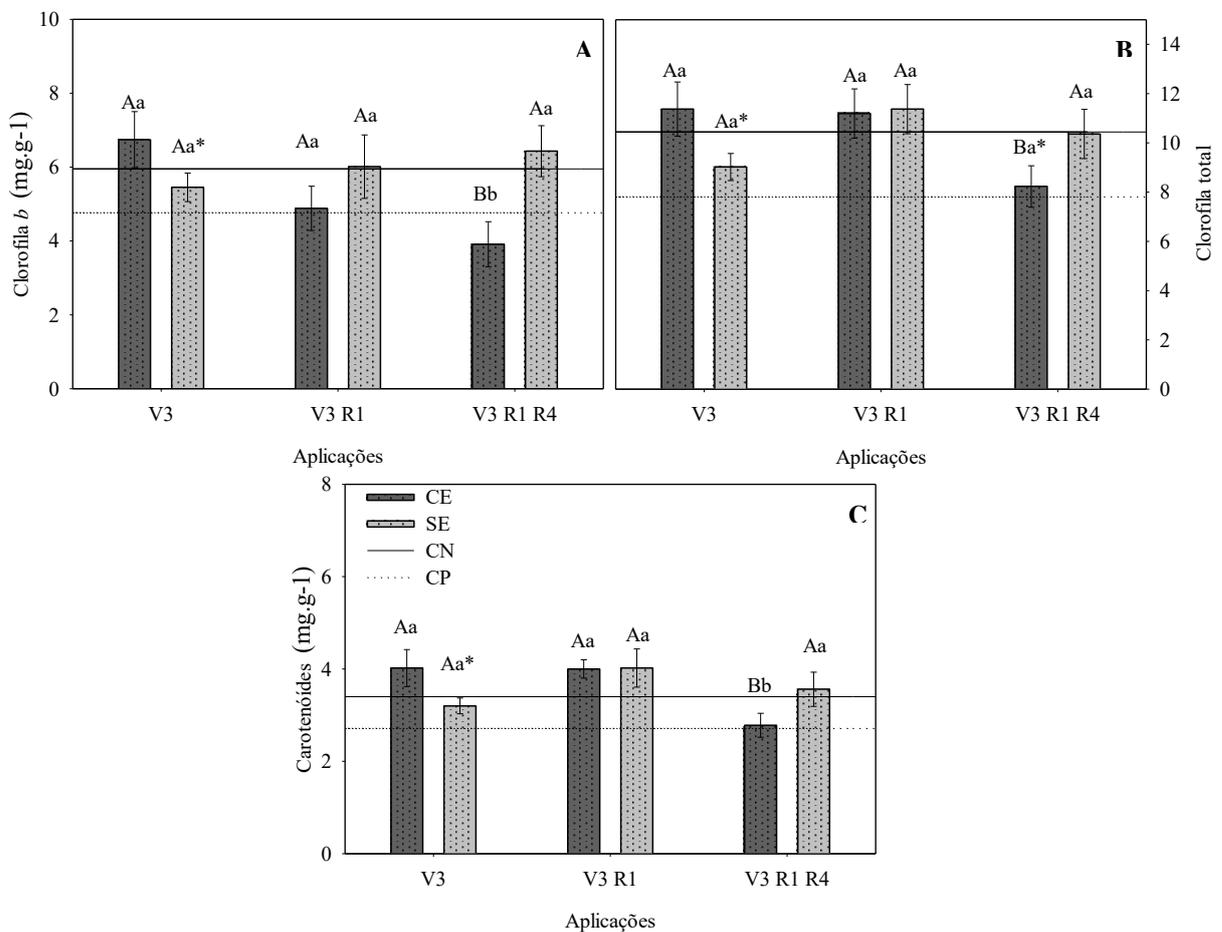
O teores de clorofila *b* (Figura 14A) foi superior em plantas com estresse nas aplicações V3 e V3/R1 e posteriormente apresentou redução de 31,86%. Já no tratamento sem estresse, o teor de clorofila *b* foi crescente com as aplicações do bioestimulante. Em média, o teor do pigmento foi superior no tratamento com estresse (6,04) em comparação ao tratamento sem estresse (5,96). O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e positivo (sem estresse e sem bioestimulante), respectivamente, apresentaram média de 5,95 e 4,77 mg.g.

Dentre as aplicações realizadas em plantas sob estresse, a maior média da clorofila total (Figura 14B) foi obtida na aplicação V3, e posteriormente, os níveis de pigmentos foram decrescendo nas demais aplicações. Em média, o teor do pigmento foi superior no tratamento com estresse (10,26 mg.g) em comparação ao tratamento sem estresse (10,24 mg.g). O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e positivo (sem estresse e sem bioestimulante), respectivamente, apresentaram média de 10,44 e 7,82 mg.g.

Foi observado que na aplicação V3 e V3/R1 em plantas com estresse, os teores de carotenoides (Figura 14C) foram crescentes e, posteriormente, apresentaram uma redução de 50,00% na aplicação V3/R1/R4. Já em plantas sem estresse, as aplicações V3/R1 e V3/R1/R4

obtiveram as maiores médias, de 3,50 e 3,56 mg.g, respectivamente. De modo geral, os tratamentos com e sem estresse foram superiores ao controle negativo (3,56%) e positivo (sem estresse e sem bioestimulante) 20,47% .

Figura 14 – Teores dos pigmentos de clorofila *b* (A), clorofila total (B) e carotenoides (C) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



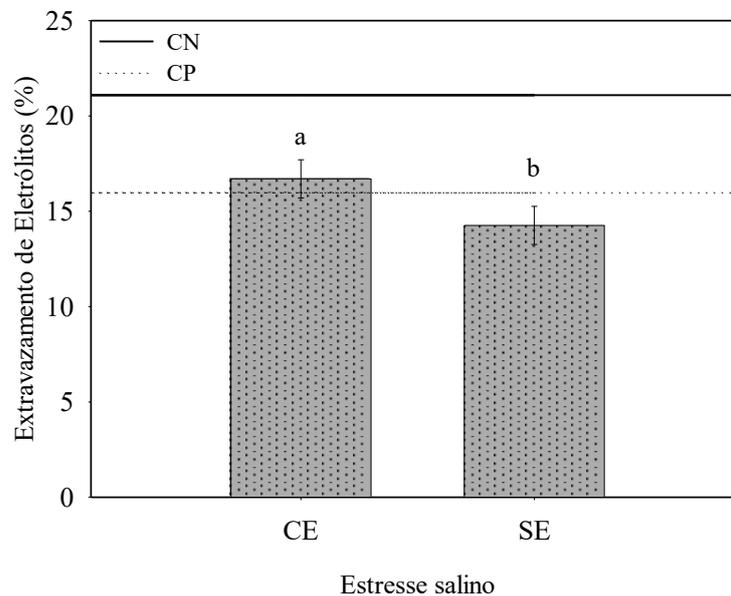
O Potencial hídrico e o vazamento de eletrólitos apresentaram resultados significativos no fator estresse. A variável sódio na folha não apresentou resultados significativos. Já as variáveis de potássio no tecido foliar e a razão  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  apresentaram interação entre as aplicações do bioestimulante e o estresse salino (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise de variância dos dados de Extravazamento de eletrólitos (EE) de Potencial Hídrico ( $\psi_w$ ), Sódio na folha (NaF), razão (Na/F), Potássio na folha (KF), em plantas de soja submetidas ao estresse e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		EE	$\psi_w$	NaF	Na/K	KF
Apl. (A)	2	0,148 <sup>ns</sup>	0,017 *	0,018 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	8,391 <sup>ns</sup>
Est. (E)	1	44,627*	4,272**	0,014 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,119 <sup>ns</sup>
Int.(A)x(E)	2	13,650 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>	0,004**	28,329**
Adc x Fatr	1	150,554**	0,770 **	0,004 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	5,730 <sup>ns</sup>
Residuo	28	8,908	0,003	0,019	0,001	4,161
Total	34	-	-	-	-	-
CV (%)		18,27	6,55	20,72	28,89	24,56

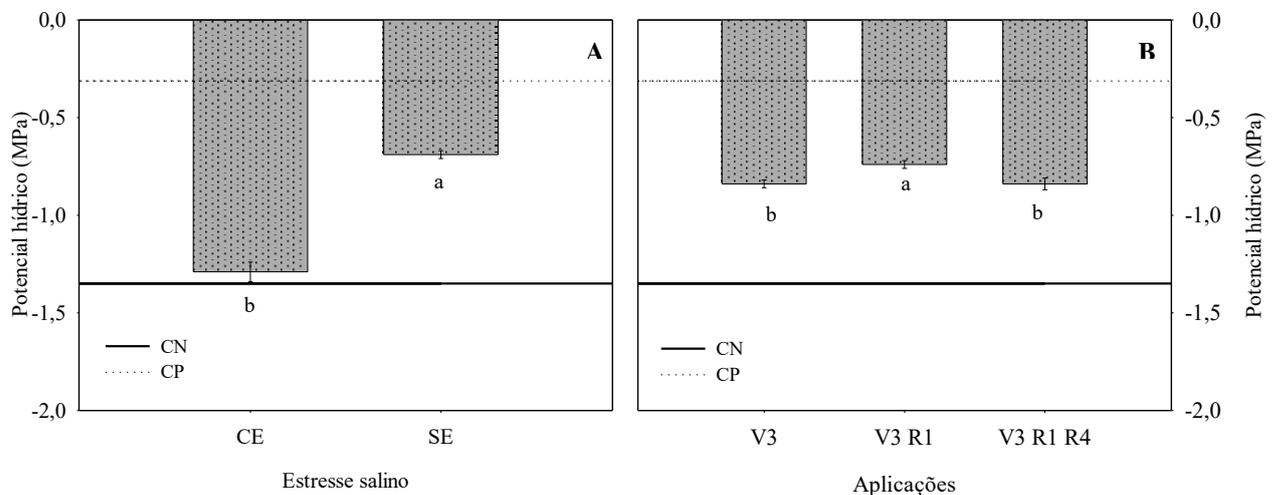
Em relação ao extravazamento de eletrólitos (Figura 15), o controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou resultado 20,78% superior ao tratamento com estresse. Já o tratamento sem estresse foi inferior 12,06% ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

Figura 15 – Extravazamento de eletrólitos em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



O potencial hídrico (Figura 16A e 16B) foi superior no tratamento com estresse. Dentre as aplicações realizadas, em soja com e sem estresse, a aplicação V3/R1, apresentou o menor resultado -0,74 MPa. No controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) obteve-se -1,347 MPa.

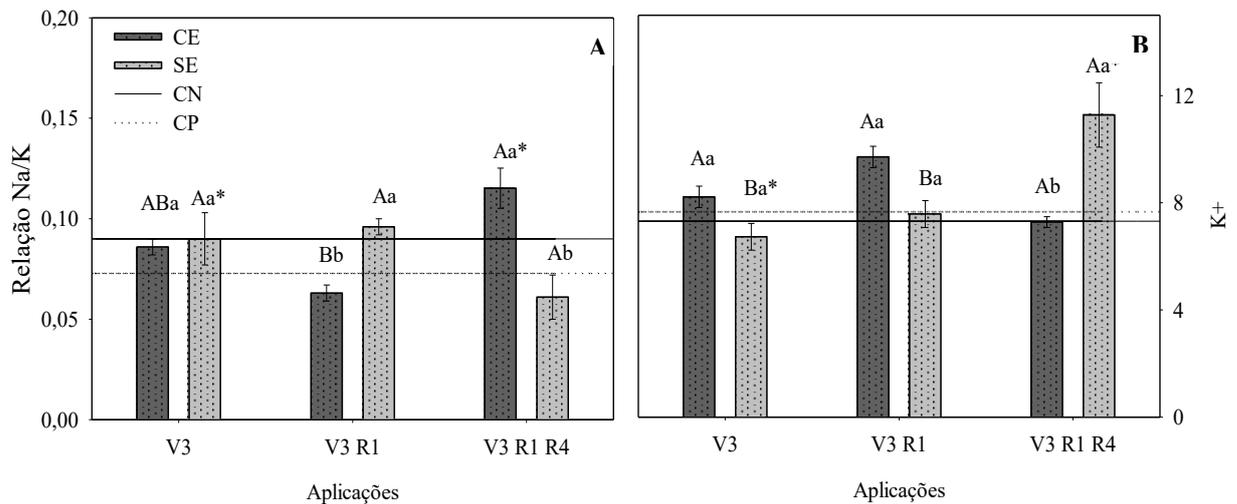
Figura 16- Potencial Hídrico em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Em relação a razão  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  (Figura 17A), a aplicação em plantas com estresse, apenas na V3R1 apresentou menores resultados (0,06), enquanto que na V3/R1/R4 a média elevou-se para 0,115, um aumento de 45,22%. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou média de 0,09 e o positivo (sem estresse e sem bioestimulante) 0,07.

O teor de potássio na folha (Figura 17B) foi superior em plantas sem estresse. O incremento do nutriente foi maior na aplicação V3/R1/R4, cerca de 35,46% superior. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou média de 7,31 e o positivo (sem estresse e sem bioestimulante) foi de 7,68 mg.g.

Figura 17- Relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ (A) e Potássio na folha (KF) (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



A partir da análise de variância observou-se que, a fotossíntese, concentração interna de  $\text{CO}_2$ , transpiração, razão  $\text{Ci}/\text{Ca}$  e a eficiência intrínseca do uso da água, apresentaram interação entre os fatores. As variáveis condutância estomática e a eficiência de carboxilação apresentou afeito no fator estresse e a eficiência instantânea do uso da água foi influenciada pelo fator aplicação (Tabela 8).

Tabela 8 - Análise de variância dos dados de Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $\text{Ci}$ ), transpiração (E), razão  $\text{Ci}/\text{Ca}$  ( $\text{Ci}/\text{Ca}$ ), eficiência instantânea do uso da água (EUA inst), eficiência intrínseca do uso da água (EUA int), eficiência de carboxilação (EiC) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza-CE, 2021.

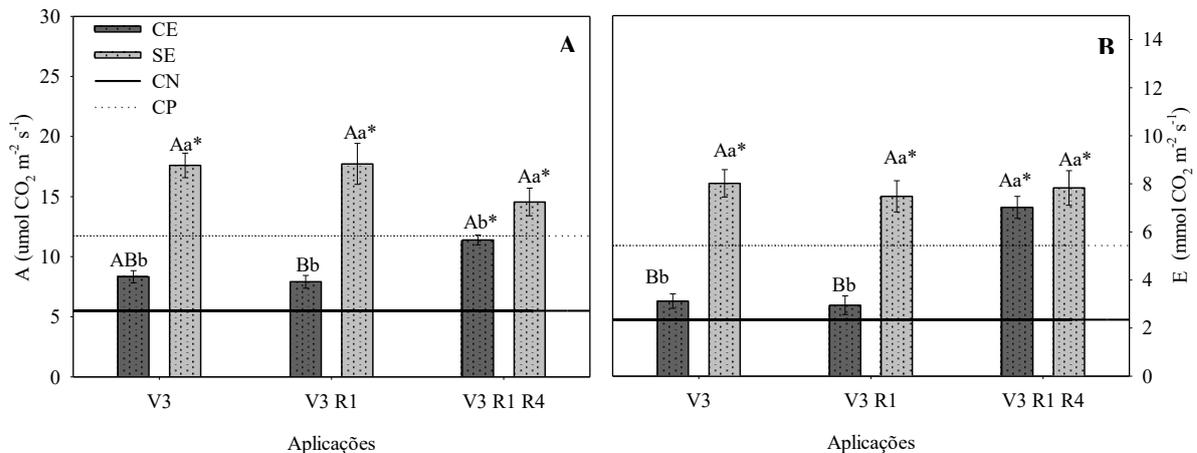
FV	GL	Quadrado Médio							
		A	E	$\text{Ci}$	gs	$\text{Ci}/\text{Ca}$	EUA intr	EUA inst	EiC
Apl. (A)	2	0,073 <sup>ns</sup>	14,087**	8850,38**	0,024*	0,070**	4468,00**	2,056**	0,003 <sup>ns</sup>
Est. (E)	1	411,61**	87,319**	13.834,54**	0,165**	0,093*	4442,78**	0,370 <sup>ns</sup>	0,004**
Int.(A)x(E)	2	34,08**	12,732**	1167,05*	0,016 <sup>ns</sup>	0,007*	1569,31*	0,411 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Adc x Patr	1	235,44**	59,154**	3311,80 <sup>ns</sup>	0,092 <sup>ns</sup>	0,027 <sup>ns</sup>	1674,67**	0,024 <sup>ns</sup>	0,003**
Residuo	28	4,74	1,328	1007,82	0,005	0,006	389,55	0,162	0,001
Total	34	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		18,37	20,75	12,97	39,38	13,06	24,93	17,6	21,65

\*\* : não significativo; significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

A fotossíntese líquida (Figura 18A) em plantas sem estresse foi superior às plantas com estresse e 29,22% superior ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). De modo geral, todas as aplicações realizadas em plantas com estresse foram superiores ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e a mais expressiva foi na V3/R1/R4 com um incremento de 51,66% na taxa fotossintética.

A taxa transpiratória (Figura 18B) nos tratamentos com estresse apresentaram redução na aplicação apenas no V3/R1, na aplicação posterior houve uma elevação de 30,57%. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou média de 2,35 e o positivo (sem estresse e com bioestimulante) 5,45 mol m<sup>-2</sup>s<sup>-2</sup>.

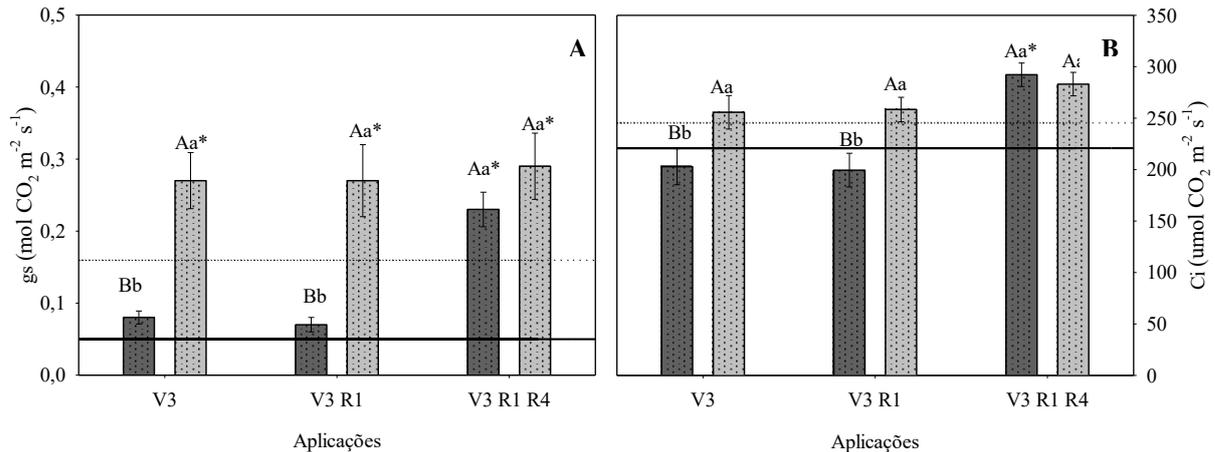
Figura 18- Fotossíntese *A* (A) Transpiração *E* (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Em relação a condutância estomática (Figura 19A), a aplicação V3/R1/R4 apresentou resultados superiores aos respectivos controles. Em plantas com estresse a média foi 75,00% superior ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e no tratamento sem estresse, as plantas apresentaram respostas 42,76% superior ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

Em relação a interação da concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 19B) entre os fatores do presente estudo, a maior média foi na aplicação V3/R1/R4. Quando observou-se as aplicações apenas no V3 e V3/R1, as mesmas foram 20,88% e 22,80% superior em plantas sem estresse, respectivamente. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou média de 5,50 e o positivo (sem estresse e com bioestimulante) 11,76  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

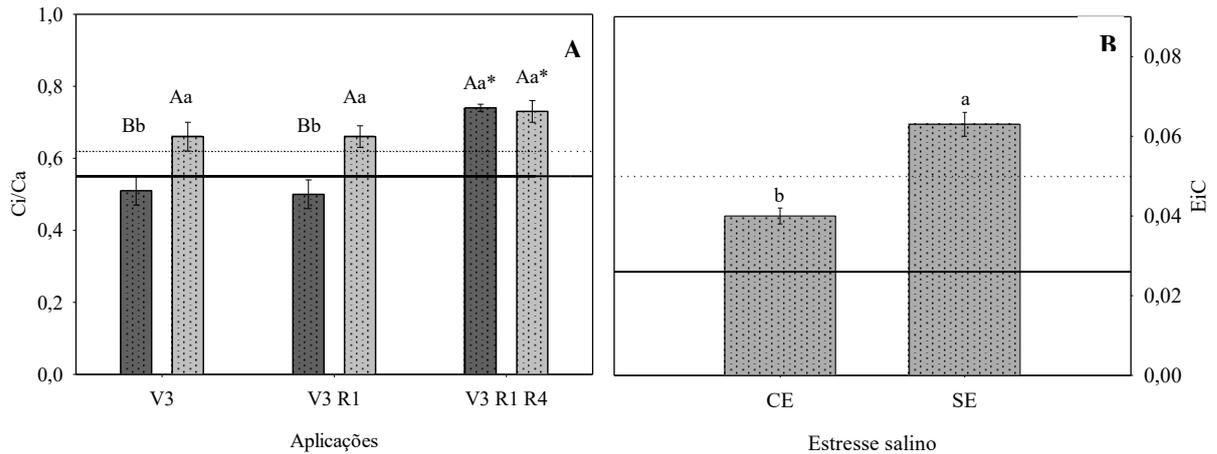
Figura 19- Condutância estomática  $g_s$  (A) Concentração interna de  $CO_2$   $C_i$  (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



A interação entre os fatores e a razão  $C_i/C_a$  (Figura 20A) foi superior no V3/R1/R4 dentre as demais aplicações (0,748). As aplicações realizadas apenas no V3 e até o R1 apresentaram resultados inferiores comparando-se os dois fatores. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou média de 0,55 e o positivo (sem estresse e com bioestimulante) 0,62.

A eficiência de carboxilação (Figura 20B), em plantas sem estresse as médias foram 35,56% superior ao tratamento com estresse. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) obteve média de 0,0256 e o positivo (sem estresse e com bioestimulante) 0,049.

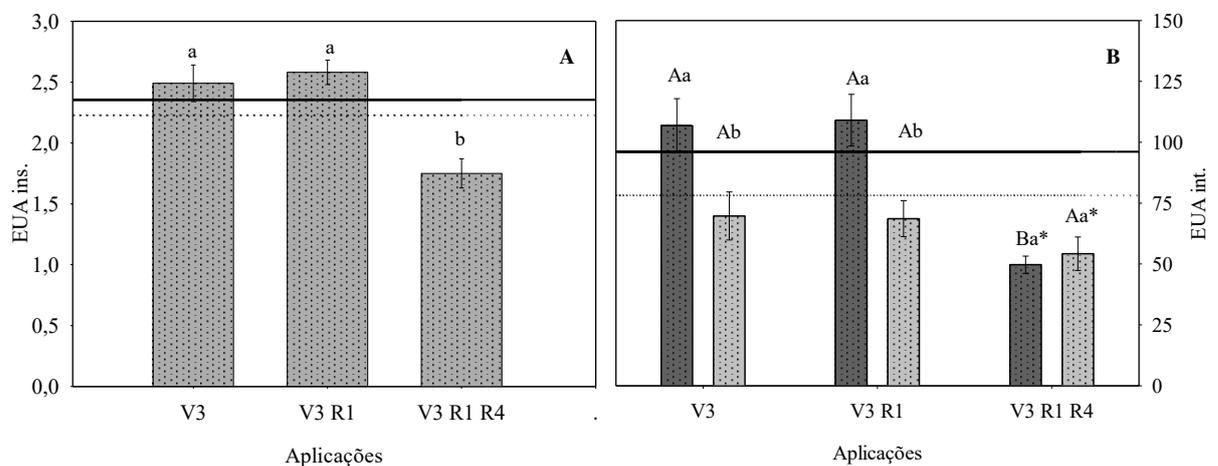
Figura 20- Razão  $C_i/C_a$  (A) e eficiência interna de carboxilação  $E_{ic}$  (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicações do bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Em relação a eficiência instantânea do uso água (Figura 21A), as aplicações V3 e V3/R1 no tratamento com e sem estresse obtiveram média de 2,58 e 2,49, respectivamente. O controle positivo apresentou média de 2,23 e o controle negativo apresentou média de 2,35.

Em relação a eficiência intrínseca (Figura 21B), o resultado mostrou que a aplicação apenas no V3 e V3R1 em plantas com estresse obtiveram médias superiores as plantas sem estresse. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou média de 96,11 e o positivo (sem estresse e sem bioestimulante) 78,38.

Figura 21- Eficiência instantânea (A) e eficiência intrínseca do uso da água (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) CE = com estresse; SE = sem estresse; CN = Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras diferentes diferem entre si estatisticamente.



A partir da análise de variância observou-se que, a eficiência fotoquímica potencial do FSII, rendimento quântico efetivo do PSII, *quenching* fotoquímico e a taxa de transporte de elétrons apresentaram efeito significativo no fator estresse. O *quenching* não-fotoquímico e a taxa de transporte de elétrons apresentaram interação entre os fatores aplicação e estresse salino (Tabela 9).

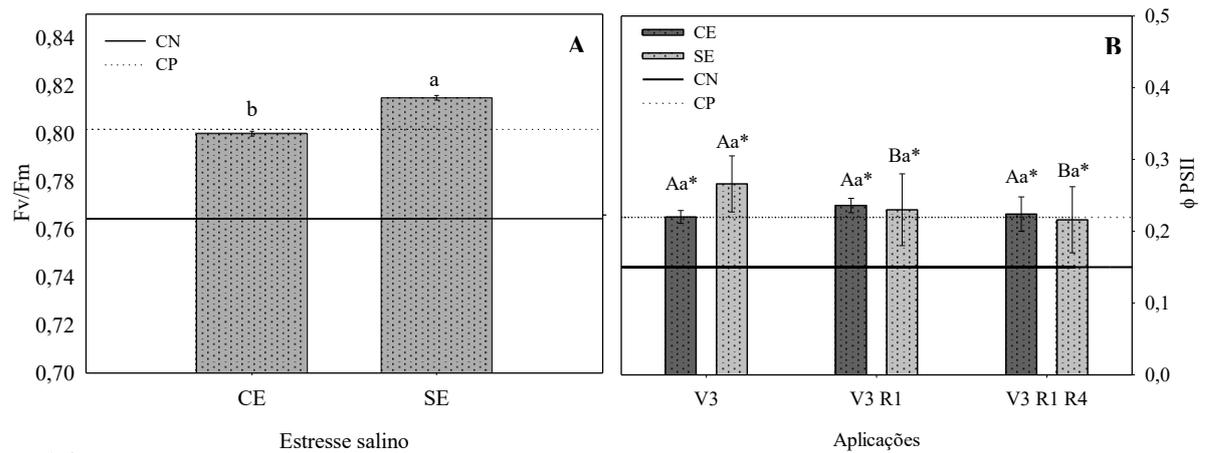
Tabela 9 - Análise de variância dos dados de eficiência fotoquímica potencial do FSII (Fv/Fm), rendimento quântico efetivo do PSII ( $\phi$ FSII), a taxa de transporte de elétrons (ETR), *quenching* fotoquímico (qP), *quenching* não-fotoquímico (qN), e taxa de transporte de elétrons (ETR), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). Fortaleza- CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		Fv/Fm	$\phi$ FSII	qP	qN	ETR
Apl. (A)	2	0,009 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,004*	0,040*	104,668 <sup>ns</sup>
Est. (E)	1	0,001**	0,008 <sup>ns</sup>	0,010**	0,607*	1063,74*
Int.(A)x(E)	2	0,003 <sup>ns</sup>	0,002*	0,001 <sup>ns</sup>	0,367*	1215,33*
Adc x Fatr	1	0,008 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	0,309 <sup>ns</sup>	10679,17 <sup>ns</sup>
Residuo	28	0,006	0,003	0,008	0,006	186,23
Total	34	-	-	-	-	-
CV (%)		5,00	7,99	8,19	13,25	9,74

As médias para a variável eficiência fotoquímica (Figura 22A) no tratamento com estresse (0,800) foram superiores 4,38% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) (0,765). No tratamento sem estresse (0,810) o resultado foi 0,99% superior ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) (0,802).

Em relação ao rendimento quântico efetivo do PSII (Figura 22B), a aplicação realizada nos estádios V3/R1/R4 apresentou resultado 33,78% superior ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante). Em plantas sem estresse, a aplicação apenas no V3 apresentou resultado 5,04% superior ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

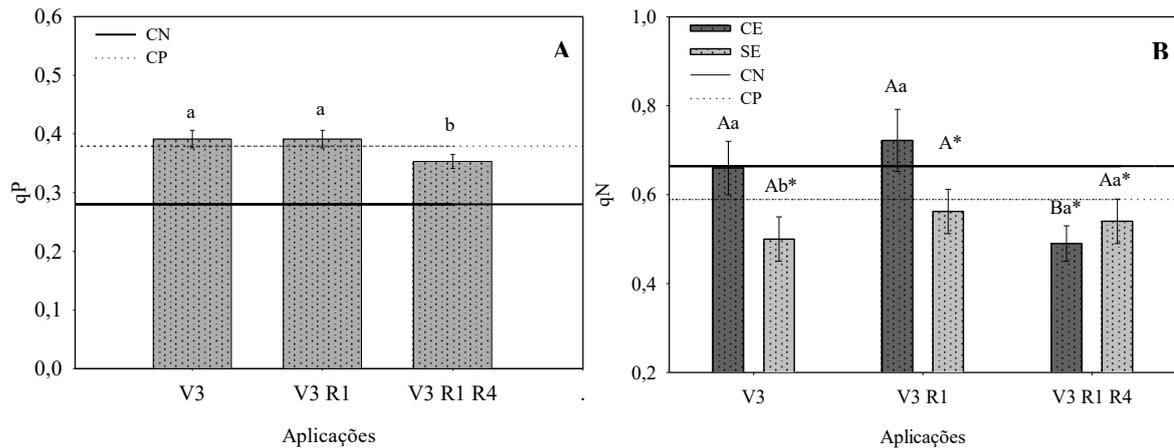
Figura 22- Eficiência fotoquímica potencial (A) e rendimento quântico efetivo do PSII ( $\phi$ FSII) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) CE = com estresse; SE = sem estresse; CN = Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras diferentes diferem entre si estatisticamente.



Em relação ao *quenching* fotoquímico (Figura 23A), dentre as aplicações com e sem estresse salino, as realizadas no V3 e V3/R1 foram superiores as demais, com média de 0,381 e 0,380, respectivamente. De modo geral, as plantas submetidas ao estresse foram 26,32% superior ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) e o controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante) foi superior 1,55% ao tratamento sem estresse.

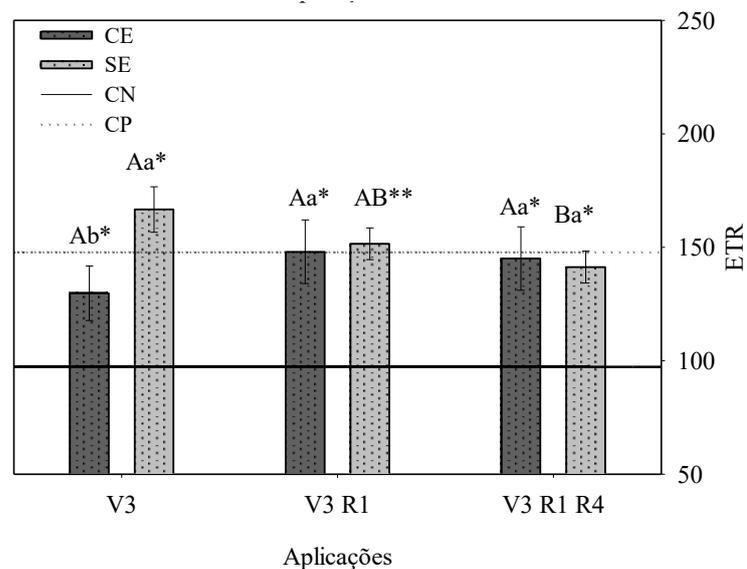
Em relação ao *quenching* não fotoquímico (Figura 23B), a aplicação realizada no V3/R1 em plantas com esse apresentou resultado superior as demais aplicações e foi superior 8,04% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante), posteriormente, na aplicação V3/R1/R4 a média da variável, no mesmo tratamento, reduziu 47,44%. No tratamento sem estresse, observou-se que, na aplicação apenas no V3 apresentou valor inferiores as demais aplicações e inferior 18,60% ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante).

Figura 23 - *quenching* fotoquímico (A) e *quenching* não-fotoquímico (B) em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE= com estresse; SE= sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



Em relação a taxa de transporte de elétrons (Figura 24) a aplicação realizada apenas no V3 em plantas sem estresse apresentou média de 156,50, superior 5,46% ao controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Já em plantas com estresse, a maior média foi obtida na aplicação V3/R1/R4, 145,86, a mesma foi superior 33,94% ao controle negativo (com estresse e sem bioestimulante).

Figura 24 – Taxa de transporte de elétrons em plantas de soja submetidas ao estresse salino e a aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4). CE= com estresse; SE= sem estresse; CN= controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP= controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante). Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



O resultado da análise de variância nas variáveis número e comprimento das vagens obtiveram resultado significativo ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ) no fator estresse. A variável número de lóculos não apresentou resultado significativo (Tabela 10).

Tabela 10 - Análise de variância dos dados de número de vagens (NV), comprimento das vagens (CV) e número de lóculos (NL), em plantas de soja submetidas ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4) Fortaleza-CE, 2021.

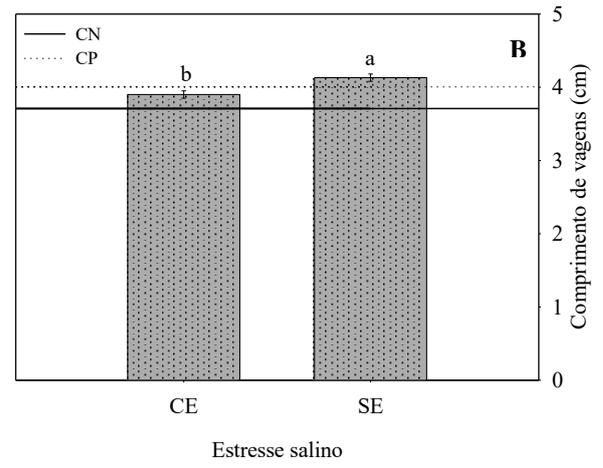
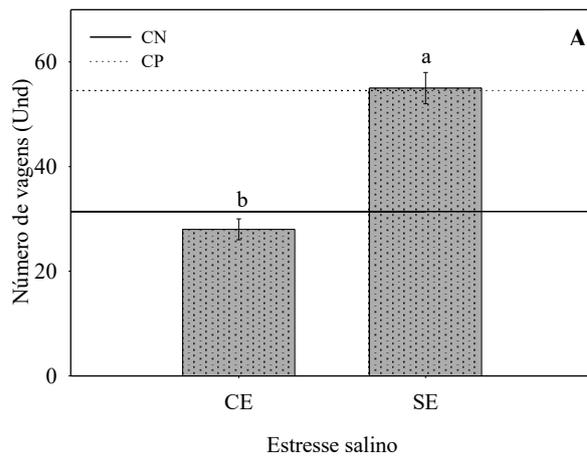
FV	GL	Quadrado Médio		
		NV	CV	NL
Apl. (A)	2	3,90ns	0,018ns	0,090ns
Est. (E)	1	5386,80**	0,406**	0,030ns
Int.(A)x(E)	2	36,70ns	0,003ns	0,009ns
Adc x Fatr	1	394,97**	0,307**	0,140ns
Residuo	28	32,04	0,037	0,070
Total	34	-	-	-
CV (%)		14,28	4,85	9,87

ns; \*, \*\*: não significativo; significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

O número de vagens (Figura 24A) no tratamento com estresse salino apresentaram resultado 49,60% inferior ao tratamento sem estresse. O controle negativo (com estresse e sem bioestimulante) apresentou 31,4 vagens e o positivo (sem estresse e sem bioestimulante) 54,6 vagens.

Em plantas com estresse, o resultado da variável comprimento das vagens (Figura 24B) foi 5,56% inferior ao tratamento sem estresse.

Figura 25 – Número de vagens (A) e comprimento das vagens (B) de plantas de soja submetida ao estresse salino e aplicação de bioestimulante em seus estádios fenológicos (V3, V3/R1 e V3/R1/R4); CE = com estresse; SE = sem estresse; CN= Controle negativo (com estresse e sem bioestimulante); CP = controle positivo (sem estresse e sem bioestimulante); Letras distintas diferem entre si estatisticamente.



## 7 DISCUSSÃO

Os efeitos do estresse salino são responsáveis por provocar alterações nutricionais em plantas devido aos mecanismos de competição ou antagonismo com determinados íons, esses mecanismos provocam reduções nos processos de absorção, transporte e assimilação da biomassa. As respostas morfofisiológicas e bioquímicas das plantas variam em função do genótipo, do estágio fenológico, da intensidade e duração do estresse (MUNNS, 2002; WILLADINO; CAMARA, 2010; GURGEL et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2013).

O aumento da altura das plantas depende da energia suprida pela fotossíntese fornecida pela sintetização de compostos orgânicos (ANDRADE et al., 2018), a redução do crescimento em plantas sob estresse salino pode ser explicada pelos efeitos osmóticos provocados pelo déficit hídrico, e, ou, de efeitos de íons que afetam a divisão e o alongamento celular (AYERS; WESTCOT, 1999). No presente estudo, a redução do crescimento em plantas que receberam apenas a aplicação inicial no V3 provavelmente deve-se aos estágios iniciais da exposição ao elevado teor de sais em seu sistema radicular (SILVEIRA et al., 2010).

Enquanto que para as plantas que estavam no R1, foi realizada a segunda aplicação do produto, percebeu-se que as mesmas apresentaram incrementos na altura. Em condições adversas as plantas apresentam respostas não permanentes na sua fisiologia e morfologia, o mecanismo de aclimação promove respostas que podem ser revertidas caso as condições ambientais se alterem (TAIZ et al., 2017). Tais incrementos na altura podem ser devido ao processo de aclimação, e a composição do bioestimulante a base da alga *Ascophyllum nodosum* que possui hormônios vegetais como a auxina e giberelina, responsáveis pelo alongamento do caule (MELO et al., 2021; TAIZ et al., 2017), podem ter estimulado o crescimento das plantas. Posteriormente, após a aplicação no R4 foi observado que a altura reduziu, porém ficou superior à aplicação inicial, indicando que a aplicação mais de uma vez pode contribuir para o desenvolvimento da soja.

A produção de novas folhas depende da formação e desenvolvimento de novos primórdios foliares. A redução do número de folhas encontrada em plantas com estresse pode estar relacionada ao menor crescimento da planta devido à restrição no processo de absorção de água, uma vez que a redução do fluxo de água no sentido solo-planta-atmosfera provoca alterações morfológicas e anatômicas nas plantas (COELHO et al., 2013).

O diâmetro do caule menos espesso nas plantas com estresse pode ser resultado da diminuição de água disponível para a raiz, devido a redução do potencial hídrico do solo observado no atual estudo, fazendo as plantas usarem mais energia para retirar a água retida

na solução do solo e que seria utilizada para o crescimento da planta (LEONARDO et al., 2007).

O comprimento radicular foi um dos parâmetros afetados pelo teor de sais no solo, sua redução deve-se a outro efeito adverso da salinidade: a ocorrência da seca fisiológica e o acúmulo de íons tóxicos ( $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ ) no tecido vegetal. Esses fatores atuam impedindo o crescimento e desenvolvimento da raiz (REICHARDT, 1990; DIAS; BLANCO, 2010). A partir da observação do controle negativo, observou-se que, na ausência do bioestimulante os efeitos da salinidade foram mais severos, uma vez que, as plantas mesmo com estresse apresentaram incrementos no comprimento radicular.

As respostas às aplicações de bioestimulante podem variar desde a absorção, translocação e partição de nutrientes, como também no enraizamento, crescimento e florescimento (SHARMA et al., 2014). Os efeitos podem variar devido a interação entre os diferentes compostos orgânicos presentes no extrato de algas (ARAÚJO, 2016), como o ácidos fúlvicos que devido sua função como auxina favorece o desenvolvimento das células das raízes (BORCIONI, et al., 2016).

Com o acúmulo de sais no solo as plantas tendem a utilizar suas reservas de crescimento e desenvolvimento para se aclimatar a presença da salinidade, o que provoca redução da assimilação de carbono e no ganho de biomassa (SENA et al., 2018), resultado observado nos parâmetros: volume radicular, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea.

A aplicação do bioestimulante em plantas sem estresse promoveu maior área foliar, volume de raiz e maior produção de biomassa. Apesar da aplicação do produto em plantas com estresse a área foliar foi inferior. A diminuição, possivelmente, se deve a modificações morfofisiológicas como a redução na emissão e alongamento das folhas e assim, menor superfície foliar (TESTER; DAVENPORT, 2003). Todavia, mesmo submetida ao estresse, as plantas apresentaram incrementos na área foliar e foram superiores ao controle negativo.

A área foliar específica relaciona a parte morfológica e a fitomassa da planta. O menor acúmulo de massa seca representa maiores valores de área foliar específica e assim, baixa capacidade fotossintética (DAI et al., 2015). O resultado foi evidenciado nas aplicações no V3 e V3/R1 que obtiveram um incremento na área foliar específica e apresentaram menor taxa fotossintética.

A razão de área foliar expressa área foliar disponível para que ocorra a fotossíntese. A menor RAF está presente em plantas que apresentam área foliar, altura e produção de massa seca superior (TOTAWAT; MEHTA; 1985), esses resultados foram

encontrados nas plantas sem estresse. A maior RAF em plantas com estresse possivelmente ocorreu devido a elevada transpiração, a demanda de água e a concentração de íons  $\text{Na}^+$  e/ou  $\text{Cl}^-$  na parte aérea (AKITA; CABUSLAY, 1990).

A razão parte aérea raiz foi elevada em plantas sem estresse salino, a menor razão no estresse salino pode ser devido as alterações na distribuição da matéria seca, redução da biomassa e modificações na partição de fotoassimilados (SILVA et al., 2013). Já para a razão de massa radicular (RMR), relaciona a matéria seca das raízes e a matéria seca total. A expressiva redução da RMR nas plantas com estresse pode estar relacionada ao efeito prejudicial da salinidade sobre as raízes (RODRIGUES et al., 2005).

A elevada razão de massa caulinar (RMC) foi obtida na aplicação V3/R1 em plantas com estresse. Em condições adversas, como a presença de elevado teor de sais, as plantas apresentam alterações nas distribuições de fotossintatos entre diferentes drenos (TAIZ et al., 2017). Então, nesse caso, as plantas podem ter redistribuído seus fotossintatos para o caule, ou raiz, como estratégia para evitar o estresse salino.

A razão de massa foliar indica a fração de matéria seca não exportada das folhas para o resto da planta (BENINCASA, 1988). Nesse sentido, percebeu-se que a aplicação do bioestimulante no estádio V3/R1 em plantas com estresse apresentaram valores superiores as plantas sem estresse. Esse comportamento pode ser devido a um maior gasto de energia pela planta para aumentar a concentração de íons e metabólitos secundários no seu interior e assim reduzir o seu potencial hídrico a valores inferiores ao encontrado no solo, o que promove uma elevação na quantidade de água em seu interior (SOUZA et al., 2021).

A manutenção da eficiência fotossintética nas plantas é dependente da concentração dos pigmentos fotossintéticos responsáveis pela absorção da energia luminosa usada na etapa fotoquímica da fotossíntese (ROSA, 2020). Em plantas submetidas ao estresse salino são esperadas reduções nos teores de clorofilas. A diminuição dos pigmentos é resultado dos desequilíbrios nas atividades fisiológicas e bioquímicas causados pelo elevado teor de sais. O excesso de sais estimula a ação da enzima clorofilase que degrada as moléculas do pigmento e assim provoca a destruição estrutural dos cloroplastos (SHARMA; HALL, 1991; MUNNS, 2008; TESTER, 2008).

O bioestimulante quando aplicado no V3/R1 favoreceu incrementos nos teores de clorofila *b* em plantas com estresse, o resultado mostra a atuação do produto na proteção do aparato fotossintético das plantas. Já em plantas sem estresse o acúmulo de clorofila *b* foi observada na aplicação V3/R1/R4.

Os sinais específicos de estresse ativam ou suprimem redes que podem permitir a continuidade do crescimento e da reprodução da planta sob condições de estresse. A inativação das espécies reativas de oxigênio (EROS) é realizada por moléculas antioxidantes, enzimas antioxidantes e os carotenoides (TAIZ et al., 2017). Durante a fotossíntese os carotenoides são responsáveis pela absorção de luz e exercem papel importante no aparato fotoquímico prevendo danos foto-oxidativos às moléculas de clorofila (KERBAUY, 2004; RAVEN et al., 2007).

As plantas sob estresse salino demonstraram que a aplicação do bioestimulante favoreceu a elevação dos carotenoides e de clorofila total. A aplicação no V3 se mostrou eficiente, uma vez que, mesmo em condições de salinidade apenas uma aplicação do bioestimulante levou a elevação no teor dos pigmentos. Resultados semelhantes também foram encontrados na aplicação V3/R1 e posteriormente houve um decréscimo dos pigmentos. O incremento também ocorreu em plantas sem estresse, principalmente na aplicação V3/R1/R4.

Um dos primeiros efeitos do excesso de sais do solo na planta, é a redução do potencial hídrico foliar, o que influencia diretamente na turgescência celular (CHAVES et al., 2002), em consequência disso, a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas são reduzidas (ALVES et al., 2011). O resultado mostrou então que, apesar das lâminas de lixiviação realizadas semanalmente, houve acúmulo de sais no solo demonstrado pelo potencial hídrico mais negativo.

Em decorrência disso, o extravasamento de eletrólitos foram mais acentuados. Assim, quanto maior o extravasamento de eletrólitos maior o dano da membrana. O que foi observado no controle negativo (sem o bioestimulante), o dano foi superior a todas as aplicações em plantas com estresse. Em decorrência disso, a membrana celular das plantas apresentaram menor estabilidade e permeabilidade devido a peroxidação de lipídios causados por espécies reativas de oxigênio (EROS), como o radical superóxido ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), o oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ), o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}^-$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (BEN-AMOR et al., 2006; HARRIR; MITTLER, 2009; SOUSA et al., 2017).

No estresse salino a presença de íons ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) podem afetar a absorção de nutrientes de forma direta, por meio de interações competitivas, ou indireta devido a permeabilidade da membrana celular. Um alto nível de  $\text{Na}^+$  frequentemente induz a redução da absorção do  $\text{K}^+$  pelas plantas (AZEVEDO NETO, 2000; MORAIS, et al., 2007). Tão logo, é esperado que a não exposição a níveis de salinidade, em algumas plantas, a quantidade de

potássio seja superior ao de sódio. Observou-se que, em plantas sem estresse o elevado teor de potássio no tecido foliar foi na aplicação R4.

A razão  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$  pode ser utilizada como um índice para toxicidade de sódio, uma vez que o íon inibe a atividade de enzimas que requerem o potássio como ativador (GREENWAY; MUNNS, 1980). Uma razão  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$  superior a 0,6, como a encontrada em plantas com estresse na aplicação V3/R1/R4 de 0,115, reflete maior absorção do íon pela planta, provocando a toxicidade e o desequilíbrio iônico (CUSIDO et al., 1987). Enquanto que relações iguais ou menores que 0,6, apresentadas na aplicação V3/R1, são necessárias para uma ótima eficiência metabólica em plantas não-halófitas, como a soja (AZEVEDO NETO, 2000).

A alta concentração de  $\text{Na}^+$  nos cloroplastos das células vegetais submetidas ao estresse salino inibe a realização da fotossíntese provocados pelas alterações dos processos bioquímicos (TAIZ et al., 2017). Quando a salinidade excede o nível de tolerância das plantas, um dos principais distúrbios causados pela salinidade é a limitação da fotossíntese (SCHOSSLER et al., 2012; KUMAR et al., 2014). Apesar das taxas fotossintéticas se mostrarem inferiores nas plantas com estresse, a presença do controle negativo evidenciou como o uso do bioestimulante promoveu a realização da fotossíntese em plantas com estresse, principalmente na aplicação V3/R1/R4.

Os estômatos são responsáveis por regular as trocas gasosas entre a planta e o ambiente externo (MARCED; RENZAGLIA, 2017), devido ao seu comportamento dinâmico, é possível que o aumento ou a diminuição da resistência da passagem de gases por meio do controle do potencial hídrico foliar (BARBOSA et al., 2019), de modo que, as variações no potencial hídrico da folha podem prejudicar a assimilação do carbono da planta (HSIAO, 1973). Se a perda de água pelas plantas é superior a sua capacidade de absorção e transporte, o potencial hídrico foliar diminui, levando ao fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese (COSTA et al., 2007). Em plantas sem estresse a resistência dos estômatos foi menor justificando-se que, em plantas com a aplicação do bioestimulante apresentaram taxas fotossintéticas crescentes e superiores na aplicação no V3 e R1.

Em plantas com estresse os valores de  $C_i$  em V3 e V3/R1 foram inferiores ao controle negativo, representando que o controle apresentou reduzida carboxilação. Foram observados ainda valores elevados de  $C_i$  na aplicação V3/R1/R4 em plantas com estresse, que indicam baixa atividade da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco) (ZHANG et al., 2016; MATHOBO et al., 2017).

A aplicação do bioestimulante em plantas promoveram taxas transpiratórias superiores aos controles. Em plantas com estresse, a aplicação do produto aumentou a transpiração, enquanto no controle negativo a taxa foi reduzida. Assim como em plantas sem estresse com o controle positivo. Valores elevados de  $E$  indicam maior equilíbrio térmico das plantas (GÓMEZ-BELLOT et al., 2013).

A razão  $C_i/C_a$  na aplicação V3/R1/R4 apresentou valores elevados em plantas com estresse. Nas demais aplicações V3 e V3/R1 em plantas nos tratamentos com e sem estresse os valores mostraram-se reduzidos, indicando que houve eficiência no consumo do carbono presente no mesófilo foliar para a manutenção da taxa fotossintética (LEMOS et al., 2012).

A eficiência instantânea no uso da água está relacionada à quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde (TAIZ et al., 2017). A menor eficiência no uso da água, sob condições de salinidade, pode indicar comprometimento da atividade fisiológica (SILVA et al., 2014). As aplicações do bioestimulante no V3 e V3/R1 em plantas com e sem estresse elevou a maior eficiência no uso da água.

A eficiência intrínseca no uso da água apresentou redução em plantas com estresse na aplicação V3/R1/R4, tais valores podem ter ocorrido devido ao excesso de sais, e a redução do potencial hídrico, dificultando a absorção de água pelas plantas, (GARCIA et al., 2009). Nas aplicações V3 e V3/R1 as plantas foram mais eficientes, provavelmente devido ao alto controle estomático. O incremento  $E_i/U_A$  indica a absorção de carbono com menor perda de água, contribuindo para manutenção da fotossíntese e maior plasticidade fisiológica em condições adversas (SANTOS JÚNIOR et al., 2006; FUNK; VITOUSEK, 2007; SILVA et al., 2008).

A redução da eficiência instantânea de carboxilação ( $E_iC$ ) possui relação com as condições de salinidade encontradas nas plantas sob estresse, devido a redução da taxa fotossintética, ocorrendo baixa disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a Rubisco (SILVA et al., 2015).

No presente estudo a eficiência fotoquímica potencial ( $F_v/F_m$ ) se mostrou inferior em plantas com estresse salino, isso se deve principalmente aos danos que podem estar relacionados à redução da concentração intercelular de  $CO_2$ , em razão do fechamento estomático (BAKER, 1993), o aumento na peroxidação lipídica em decorrência do desvio do fluxo de elétrons da assimilação de  $CO_2$  para a redução de  $O_2$  (LEMOS FILHO, 2000) e queda na atividade fotossintética (SMIRNOFF, 1993). Já em plantas sem estresse, os

resultados se mostraram positivos, os mesmos, de maneira geral foram iguais ou superiores ao controle positivo, evidenciando uso eficiente do bioestimulante.

O elevado teor de sais provoca modificações na composição e função do aparato fotossintético das plantas e no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos, que provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência, além do rendimento quântico potencial, especialmente do fotossistema II (SILVA et al., 2011), que é um indicador da eficiência no uso da radiação fotoquímica e, conseqüentemente, na assimilação de carbono pelas plantas (TESTER; BACIC, 2005). O rendimento quântico do PS II, apesar de ter apresentando valores reduzidos em comparação ao tratamento sem estresse, o mesmo foi superior ao controle negativo.

A exposição de plantas à luz, os centros de reação do PS2 são progressivamente reduzidos, ocorrendo um aumento da fluorescência da clorofila. Em seguida, a fluorescência decai em um fenômeno chamado extinção da fluorescência (“quenching”) (AZEVEDO NETO et al., 2011). A extinção fotoquímica (qP) é iniciada em função do aumento dos elétrons exportados do PS2 devido à ativação das enzimas envolvidas no metabolismo do carbono e da abertura estomática (BAKER; ROSENQVST, 2004; FLEXAS, 2002). Dessa forma, qP quantifica a capacidade fotoquímica do PSII, e corresponde à fração de centros de reação PS2 abertos. De modo geral, as aplicações realizadas no V3 e V3/R1 foram as mais eficientes.

A extinção não fotoquímica (qN) ou *quenching* não-fotoquímico representa a ativação dos processos não fotoquímicos de emissão da fluorescência da clorofila, levando principalmente à dissipação de energia não radiativa, tais como mudanças no gradiente de pH transtilacoidal, fotoinibição, desconexão dos complexos móveis captadores de luz (AZEVEDO NETO et al., 2011). Dentre as aplicações do bioestimulante, a realizada no V3/R1/R4 apresentou declínio na extinção não fotoquímica.

A taxa de transporte de elétrons na aplicação apenas no V3 apresentou redução provavelmente devido ao aumento do teor de sais no solo e logo redução de disponibilidade de água para as plantas (SILVA et al., 2021). Os transportadores de elétrons fotossintéticos são inativados com o aumento do potencial osmótico, podendo atingir nível irreversível (TATAGIBA et., 2014). Já como visto na aplicação V3/R1/R4, os resultados apresentaram aumento provavelmente ao uso do bioestimulante.

Nos caracteres produtivos, o número de vagens e seu comprimento foram inferiores em plantas com estresse salino. O número de vagens provavelmente foi inferior

devido ao efeito do estresse em reduzir a emissão de ramos reprodutivos, além de aumentar a taxa de abortamento (OLIVEIRA et al., 2015).

## **8 CONCLUSÕES**

O bioestimulante conferiu diferentes respostas quando aplicado nos estádios fenológicos V3, V3/R1 e V3/R1/R4.

As aplicações do bioestimulante em plantas com estresse salino apresentaram respostas positivas nos processos fisiológicos e bioquímicos. Nos parâmetros biométricos as plantas apresentaram redução devido aos efeitos deletérios da salinidade.

As plantas apresentaram respostas positivas nos pigmentos fotossintéticos, evidenciando o uso do bioestimulante na proteção do aparato fotossintético em plantas com estresse salino.

O uso do bioestimulante em plantas sem estresse incrementou a taxa fotossintética, refletindo no maior crescimento, desenvolvimento, acúmulo de biomassa e de produção de vagens.

## REFERÊNCIAS

- ABDELLY, C. Response of antioxidant systems to NaCl stress in the halophyte *Cakile maritima*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 126, p. 446-457, 2006.
- AFZAL, S., AHMAR, S., DAWAR, K.M., ALI, S., ALAMRI, S., SIDDIQUI, M.H., AKBAR, R., FAHAD, S., 2020a. Melatonin-Induced Salinity Tolerance by Ameliorating Osmotic and Oxidative Stress in the Seedlings of Two Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars. *J. Plant Growth Regul.*
- AHANGER, M.A., AZIZ, U., ALSAHLI, A.A., ALYEMENI, M.N., AHMAD, P., 2020. Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate-glutathione cycle in salt stressed *Vigna angularis*. **Biomolecules** 10, 42.
- AKITA, S.; CABUSLAY, G. S. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. **Plant and Soil**, v.123, p.277-294, 1990.
- ALI, M.H.S., AKHTAR, N., SAIF-UR-REHMAN, A.S., NADEEM, M., TANVEER, M.H., 2020b. Genetic analysis of Pakistani wheat germplasm for yield contributing traits under normal and heat stressed conditions. *Pak. J. Agri. Sci* 57, 1503–1508.
- ALVES, F. A. L. et al. Efeito do Ca<sup>2+</sup> externo no conteúdo de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> em cajueiros expostos a salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.602-608, 2011
- ALVES, F. A. L.; SILVA S. L. F.; SILVEIRA, J. A. G.; PEREIRA, V. L. A. Efeito do Ca<sup>2+</sup> aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p. 129-140.
- AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na gricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p
- BASSO, D., TRENNEPOHL, D., VIEIRA, E. L., & MUENCHEN, J. V. (2021). A dinâmica de ocupação do espaço natural pelo processo de expansão da sojicultura no Brasil. **Informe GEPEC**, 25(1). <https://doi.org/10.48075/igepec.v25i1.25405>
- BENDALY, A.; MESSEDI, D.; SMAOUI, A.; KSOURI, R.; BOUCHEREAU, A.; ABDELLY, C. Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity. **Plant Physiology and Biochemistry**, Netherlands, v. 103, p. 208-218, 2016.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Plant salt tolerance: Adaptations in halophytes. **Annals of Botany**, United Kingdom, v. 115, p. 327–331, 2015.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BERNSTEIN, N., Silk, W., & Läuchli, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress: Spatial and temporal aspects of leaf growth inhibition. **Plant**, 191(4), 433-439, 1993.

BULGARI R.; MORGUTTI S.; COCETTA G.; NEGRINI N.; FARRIS S.; CALCANTE A.; SPINARDI A.; FERRARI E.; MIGNANI I.; OBERTI R.; FERRANTE A. Evaluation of borage extracts as potential biostimulant using a phenomic, agronomic, physiological, and biochemical approach. *Frontiers in Plant Science*, v.8, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00935

BULGARI, R.; COCETTA, G.; TRIVELLINI, A.; VERNIERI, P.; FERRANTE, A. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture and Horticulture*, v.31, p.1-17, 2015.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, v.383, p.3–41, 2014. DOI:10.1007/s11104-014-2131-8.

BULGARI, R.; FRANZONI, G.; FERRANTE, A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, v.9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>.

CÂMARA, G. M. de S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. International plant nutrition intitute. *Informações Agronômicas*, n. 147, 2014.

CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M. (Ed.). Soja: tecnologias da produção II. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 81-120 Campina Grande, v. 15, p.991–995, 2011b

CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas, [http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_pdf) (accessed 21.07.2021).

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; JONES, D.L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI. P.; PICCOLO. A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, v.196, p.15-27, 2015

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; JONES, D.L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI. P.; PICCOLO. A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, v.196, p.15-27, 2015

CANTABELLA, D.; PIQUERAS, A.; ACOSTA-MOTOS, J. R.; BERNAL-VICENTE, A.; HERNANDEZ, J. A.; DÍAZ-VIVANCOS, P. Salt-tolerance mechanisms induced in *Stevia rebaudiana* Bertoni: Effects on mineral nutrition, antioxidative metabolism and steviol glycoside content. *Plant Physiology and Biochemistry*, Netherlands, v.115, p. 484-496, 2017.

CARMONA. F. C. Salinidade da Água e do Solo e sua Influência sobre o Arroz Irrigado. 2011. 116f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CAVALCANTE, W. S. DA S., DA SILVA, N. F., TEIXEIRA, M. B., FILHO, F. R. C., NASCIMENTO, P. E. R., 38; CORRÊA, F. R. (2020). Efficiency of bioestimulants in the management of water deficit in soybean culture. *IRRIGA*, 754–763. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n4p754-763>

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T. & PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Ann. Bot.**, 89: 907- 916, 2002

CHEN, P., YAN, K., SHAO, H.B., ZHAO, S.J., 2013. Physiological mechanisms for high salt tolerance in wild soybean (*Glycine soja*) from yellow river delta, China: photosynthesis, osmotic regulation, ion flux and antioxidant capacity. **PLoS One**, 8, 1–12  
Ciências Agrárias, Recife, v. 6, p. 602-608, 2011.

COELHO, J. B. M., BARROS, M. D. F. C., BEZERRA NETO, E., &#38; CORREA, M. M. (n.d.). Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados, com rejeito salino em hidroponia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*,

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira grãos Safra 2018/2019, agosto/2019. Brasília, 2019. 20 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 de maio de 2021

CUSIDO, R.M.; PALAZON, J.; ALTABELLA, T.; MORALES, C. Effect of salinity on soluble protein, free amino acids and nicotine contents in *Nicotiana rustica* L. **Plant and Soil, Dordrecht**, v.102, p.55-60, 1987.

DA SILVA, S., ALMEIDA, L., SOARES, A., SOARES DE LIMA, G., GOMES NOBRE, R., &#38; GHEYI, H. R. (N.D.). Alocação de fitomassa pela mamoneira sob estresse salino e doses de nitrogênio. <http://revista.gvaa.com.br>

DAI, J.; LI, W.;TANG, W.; ZHANG, D.; LI, Z.; LU, H.; ENEJI, A.E.;DONG, H. Manipulation of dry matter accumulation and partitioning with plant density in de Sousa, J. R. M., Gheyi, H. R., Brito, M. E. B., da Silva, F. de A. F. D., & de Lima, G. S. (2017). Dano na membrana celular e pigmentos clorofilianos de citros sob águas salinas e adubação nitrogenada. **IRRIGA** 22m(2), 353–368. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n2p353-368>

FEHR, W. R., CAVINESS, R. E., BURMOOD, D. T., PENNINETON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* L. Merrill. **Crop Science**, v. 11, n. 6, p.929-931, 1971.

FIGUEIREDO, F. R. A., LOPES, M. DE F. Q., DA SILVA, R. T., NÓBREGA, J. S., DA SILVA, T. I. Physiological responses of mulungu submitted to salt stress and application of salicylic acid. **IRRIGA**, 24(3), 662–675, 2019. <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n3p662-675>

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 396, p. 307-319, 2004.

FRASCA, L. L. DE M., NASCENTE, A. S., LANNA, A. C., CARVALHO, M. C. S; COSTA, G. G. Bioestimulantes no crescimento vegetal e desempenho agrônômico do feijão-comum de ciclo superprecoce. *Agrarian*, 1347, 27–41, 2020. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.8571>

FREITAS, A. S. Efeito de bioestimulante no desenvolvimento do feijoeiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 15, n. 1, p. 815-824, 2017.

FUNK, J., VITOUSEK, P. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. *Nature* 446, 1079–1081 (2007). <https://doi.org/10.1038/nature05719>

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Estresse hídrico e salino na produção relativa potencial de água na folha do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 470-480, 2009. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n4p470-480>

GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472p.

GHEYI, Hans Raj et al (eds). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal. 2016. p. 153-162.

GÓRKA, B.; KORZENIOWSKA, K.; LIPOK, J.; WIECZOREK, P.P. The Biomass of algae and algal extracts in agricultural production. In: *Algae Biomass: Characteristics and Applications*. **Springer: Cham**, 2018. p.103-114.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of sal tolerance in nonhalophytes. *Annual Review Plant Physiology*, Palo Alto, v.31, p.149-190, 1980

H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 161-179.

HARIR, Y.; MITTLER, R. The ROS Signaling Network of Cells. In: DEL RIO, L. A.; PUPPO, A. (Ed.). *Reactive oxygen species in plants signaling*. Berlin: **Springer-Verlag**, 2009. cap. 10, p. 165-174

HASSAN, A., FASIHA AMJAD, S., HAMZAH SALEEM, M., YASMIN, H., IMRAN, M., RIAZ, M., ALI, Q., AHMAD JOYIA, F., MOBEEN, AHMED, S., ALI, S., ABDULLAH ALSAHLI, A., & NASSER ALYEMENI, M. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4276–4290, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.03.045>

JIAO, Y., BAI, Z., XU, J., ZHAO, M., KHAN, Y., HU, Y.; SHI, L. (2018). Metabolomics and its physiological regulation process reveal the salt-tolerant mechanism in Glycine soja seedling roots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126 187–196. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.002>

KAYA C., ASHRAF, M., SONMEZ, O., TUNA, A.L., POLAT, T., AYDEMIR, S. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. *Acta Physiolog. Plantarum* 37, 1741, 2015.

KAYA, C., HIGGS, D., ASHRAF, M., ALYEMENI, M.N., AHMAD, P. Integrative roles of nitric oxide and hydrogen sulfide in melatonin-induced tolerance of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants to iron deficiency and salt stress alone or in combination. *Physiol. Plant.* 168, 256–277, 2020.

KERBAUY, G.B. *Fisiologia vegetal*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2004.

KERCHEV, P., VAN DER MEER, T., SUJEETH, N., VERLEE, A., STEVENS, C. V., VAN BREUSEGEM, F; GECHEV, T. (2020). Molecular priming as an approach to induce tolerance against abiotic and oxidative stresses in crop plants. In *Biotechnology Advances* (Vol. 40). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107503>

KUMAR, T., KHAN, M. R., JAN, S. A.; AHMAD, N., NIAZ ALI, N.; ZIA, M. A., ROOMI, S., IQBAL, A.; ALI, G. M. Efficient regeneration and genetic transformation 18 of sugarcane with AVP1 gene. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 14, p. 165-171, 2014

LACERDA, C. F.; FILHO, E. G. Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 11, p. 151- 161.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

LEONARDO, M. et al Produção de frutos de pimentão em diferentes condições salinas. **Revista Irriga**, v. 12, n. 01, 2007.

LESSA, C. I. N., SOUSA, G. G. DE, SOUSA, H. C., SILVA JUNIOR, F. B. DA, SOUSA, J. T. M. DE, LACERDA, C. F. DE. Influência da cobertura morta vegetal e da salinidade sobre as trocas gasosas de genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 15, 88–96, 2021. <https://doi.org/10.7127/rbai.v1501203>

MARIANI, L.; Ferrante, A. Agronomic Management for Enhancing Plant Tolerance to Abiotic Stresses—Drought, Salinity, Hypoxia, and Lodging. **Horticulturae**, 3, 52, 2017.

MATHOBO, R., MARAIS, D., & STEYN, J. M. (2017). The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*, 180, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.005>

MENEZES, R. V.; AZEVEDO NETO, A. D.; RIBEIRO, M. de O.; COVA, A. M. W. Growth and contents of organic and inorganic solutes in amaranth under salt stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia**, v. 47, p. 22-30, 2017.

MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVA, L. M. M.; LIMA JR., A. R.; COSTA, R. C. L.; ROCHA, I. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Acumulação de íons e metabolismo de N em cajueiro anão em meio salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.11, n.2, p.125-133, 2007.

MUCHATE, N. S., NIKALJE, G. C., RAJURKAR, N. S., SUPRASANNA, P.; NIKAM, T. D. Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance. *Botanical Review*, v. 82, p. 371–406, 2016.

MUMTAZ, S., SALEEM, M. H., HAMEED, M., BATOOL, F., PARVEEN, A., AMJAD, S. F., MAHMOOD, A., ARFAN, M., AHMED, S., YASMIN, H., ALSAHLI, A. A., &#38; ALYEMENI, M. N. Anatomical adaptations and ionic homeostasis in aquatic halophyte *Cyperus laevigatus* L. Under high salinities. **Saudi Journal of Biological Sciences**, 28(5), 2655–2666, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.002>

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops - what is the cost? **New Phytologist**, v.208, n.3, p.668-673, 2015. <https://doi.org/10.1111/nph.13519>

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Reviews of Plant Biology**, v. 59, p.651-681, 2008.

PARADIKOVIĆ, N.; VINKOVIĆ, T.; VINKOVIĆ VRĆEK, I.; ŽUNTAR, I.; BOJIĆ, M.; MEDIĆ-ŠARIĆ, M. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. **J. Sci. Food Agric.** 2011, 91, 2146–2152

PARADIKOVIĆ, N.; VINKOVIĆ, T.; VINKOVIĆ VRĆEK, I.; ŽUNTAR, I.; BOJIĆ, M.; MEDIĆ-ŠARIĆ, M. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. **J. Sci. Food Agric.** 91, 2146–2152, 2011.

PAREEK A, KHURANA A, SHARMA AK, KUMAR R (2017) An overview of signaling regulons during cold stress tolerance in plants. *Curr Genomics* 18:498–511

PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E; MIRANDA, S. R. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; de LACERDA, C. F; FILHO GOMES, E. Manejo da salinidade na agricultura: **Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016, Cap, 12, p.189-199

QUEIROZ, Í. S. R.; PORTO, M. A. F. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva R. L.; OLIVEIRA, A. M. Resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva Raj Gheyi Nildo da Silva Dias Claudivan Feitosa de Lacerda Enéas Gomes Filho, H. (n.d.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados** 2a Edição.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Washington: US Department of Agriculture**, 1954. 160 p.

RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NERY, A. R.; CORREIA, K. G. Produção de arroz em condições de salinidade a partir de mudas formadas com e sem estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.95-100, 2005.

ROQUE LEMOS AZEVEDO, P., ERNANI LEITE BEZERRA, D., MARIA SOUTO, F., GUEDES BITU, S., 38; BARBOSA PEREIRA JUNIOR, E. (n.d.). no Semiárido-(Sousa-PB-Brasil) v. 1, n.1, p</i>.</div>

SAFDAR, H., AMIN, A., SHAFIQ, Y., ALI, A., YASIN, R., SHOUKAT, A., HUSSAN, M.U., SARWAR, M. I. A review: impact of salinity on plant growth. **Nat Sci** 1, 34–40. 2019.

SALEEM, M., ALI, S., REHMAN, M., RANA, M., RIZWAN, M., KAMRAN, M., IMRAN, M., RIAZ, M., HUSSEIN, M., ELKELISH, A., LIJUN, L. 2020a. Influence of phosphorus on copper phytoextraction via modulating cellular organelles in two jute (*Corchorus capsularis* L.) varieties grown in a copper mining soil of Hubei Province, China. *Chemosphere*.

SANTOS JUNIOR, U. M.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 226, n. 1, p. 299-309. 2006

SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; SILVA, A.M.; NETO, R.M.B. Estimation of evapotranspiration for different land covers in a Brazilian semi-arid region: a case study of the Brígida River basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, p.33. 2016

SANTOS, J. P.; BORGES, T. S.; SILVA, N. T.; ALCANTARA, E.; REZENDE, R. M.; SANTOS, V. M.; MELO, A. V.; CARDOSO, D. P.; GONÇALVES, A. H.; VARANDA, M. A. F.; TAUBINGER, M. Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307- 318, 2013. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p307-318>

SCHOSSLER, T. R. et al. Salinidade: Efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia biosfera**, v.8, n. 15, p. 1563, 2012

SEDIYAMA, T. Importância econômica da semente. In: SEDIYAMA, T. *Tuneo. Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: **Mecenas Ltda**, 2013. Cap. 1. p. 11.

SEDIYAMA, T. Origem e evolução. In: SEDIYAMA, T. *Melhoramento genético da soja*. Londrina, **Editora Mecenas**, p. 352, 2015.

SEDIYAMA, T. *Produtividade da Soja*. **Viçosa: Editora UFV**, 2016, 310 p.

SEDIYAMA, T. *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina, PR: **Mecenas**, 2009, v. 1. 314 p.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. *Cultura da Soja*, Parte I. **UFV**, Minas Gerais, 97 p. 1993.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. *Soja: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, 2015, 333 p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. *Melhoramento da soja*. In: BORÉM, A. *Melhoramento de espécies cultivadas*. **Viçosa: Editora UFV**, 2005. p. 897-930.

SENA, E. S. DE, RODRIGUES, V. D. S., SOUSA, G. G. DE, SALES, J. R. DA S., LEITE, K. N., & CEITA, E. D. R. DE. (2018). Crescimento e acúmulo de biomassa em milho irrigado com água salina. **Agropecuária Técnica**, 164. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v39i2.38466/>

SHARMA, P.K.; HALL, D.O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.138, n.5, p.614-619, 1991.

SHUKLA, P.S.; SHOTTON, K.; NORMAN, E.; NEILY, W.; CRITCHLEY, A.T.; PRITHIVIRAJ, B.; Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. **AOB Plants**, v.10, 2017. doi: 10.1093/aobpla/plx051.

SILVA, A. C., et al. Promoção do crescimento radicular de plântulas detomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1609-1617,2011.

SILVA, A.F.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A. Importância Econômica. In: SEDIYAMA, T (Ed.) A. Soja: do plantio à colheita. Viçosa: **Editora UFV**, 2015. Cap. 3. p. 54-65

SILVA, L. D. A., BRITO, M. E. B., DA, F. V, SÁ, S., MOREIRA, R. C. L., DOS, W., SOARES FILHO, S., & FERNANDES, P. D. (n.d.). Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico 1. <http://www.agriambi.com.br>

SILVA, T. T. A.; PINHO, E. R. V.; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P. O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v. 32, p. 840- 846, 2008.

SILVEIRA, J.A.G, ARAÚJO, S.A.M., LIMA, J.P.M.S. & VIÉGAS, R.A. (2009). Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, 66(1),1-8.

SILVEIRA, J.A.G; SILVA, S.L.F.; SILVA, E.N.; VIEGAS, R.A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, Souza, L. de P., Nobre, R. G., Gheyi, H. R., de Fátima, R. T., Lima, G. S. de, & Diniz, G. L. (2021). Índices fisiológicos e crescimento de porta-enxertos de cajueiro sob estresse salino e concentrações de prolina. **IRRIGA**, 169-183 <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p169-183>.

SOUZA, L. DE P., NOBRE, R. G., GHEYI, H. R., DE FÁTIMA, R. T., LIMA, G. S. DE, & DINIZ, G. L. (2021). Índices fisiológicos e crescimento de porta-enxertos de cajueiro sob estresse salino e concentrações de prolina. **IRRIGA**, 1(1), 169–183. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p169-183>

TESTER, M. AND DAVENPORT, R. (2003) Na<sup>+</sup> Tolerance and Na<sup>+</sup> Transport in Higher Plants. **Annals of Botany**, 91, 503-527. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg058>

VIGHI, I. L.; BENITEZ, L. C.; AMARAL M. N.; MORAES, G. P.; AULER, P. A.; RODRIGUES, G. S.; DEUNER, S.; MAIA, L. C.; BRAGA, E. J. B. Functional characterization of the antioxidant enzymes in rice plants exposed to salinity stress. **Biologia Plantarum**, Netherlands, v. 61, p. 540–550, 2017.

YAKHIN, O. I., LUBYANOV, A. A., YAKHIN, I. A., & BROWN, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. In *Frontiers in Plant Science*(Vol. 7). **Frontiers Media S.A.** <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

ZAMIN, M., KHATTAK, A.M.. Performance of *Sporobolus spicatus* ecotypes, UAE native grass, under various salinity levels. **Pure and Applied Biology (PAB)** 6, 595–604, 2017.

ZHANG R, GUAN X, LAW YS, SUN F, CHEN S, WONG KB, LIM BL. ATPAP2 modulates the import of the small subunit of Rubisco into chloroplasts. **Plant Signal Behav.** 2016 Oct 2;11(10):e1239687. doi: 10.1080/15592324.2016.1239687. PMID: 27700374; PMCID: PMC5117095.

ZHANG, F., WANG, Y., LIU, C., CHEN, F., GE, H., TIAN, F., YANG, T., MA, K., & ZHANG, Y. (2019). *Trichoderma harzianum* mitigates salt stress in cucumber via multiple responses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 170, 436–445. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2018.11.084>