



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICA E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

CARLOS DANIEL DE SOUZA MORAIS

**APLICAÇÃO EXÓGENA DE NITROPRUSSIATO DE SÓDIO E QUITOSANA NO
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE BIOMASSA DE GIRASSOL SOB ESTRESSE
SALINO**

MOSSORÓ

2025

CARLOS DANIEL DE SOUZA MORAIS

**APLICAÇÃO EXÓGENA DE NITROPRUSSIATO DE SÓDIO E QUITOSANA NO
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE BIOMASSA DE GIRASSOL SOB ESTRESSE
SALINO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior

Co-orientador: Msc. Antonio Gideilson Correia da Silva

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M827a Morais, Carlos Daniel de Souza.
 Aplicação exógena de nitroprussiato de sódio e quitosana no crescimento e acúmulo de biomassa de girassol sob estresse salino / Carlos Daniel de Souza Morais. - 2025.
 39 f. : il.

 Orientador: Aurélio Paes Barros Júnior.
 Coorientador: Antonio Gideilson Correia da Silva.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de , 2025.

 1. Helianthus annuus L. 2. óxido nítrico. 3. bioestimulantes. 4. taxa de crescimento. 5. estresse abiótico. I. Barros Júnior, Aurélio Paes , orient. II. Silva, Antonio Gideilson Correia da , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

CARLOS DANIEL DE SOUZA MORAIS

**APLICAÇÃO EXÓGENA DE NITROPRUSSIATO DE SÓDIO E QUITOSANA NO
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE BIOMASSA DE GIRASSOL SOB ESTRESSE
SALINO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
agronomia.

Defendida em: 12 / dezembro / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Junior (UFERSA)
Presidente

Dr. João Everthon da Silva Ribeiro (UFERSA)
Membro Examinador

Msc. Antonio Gideilson Correia da Silva (UFERSA)
Membro Examinador

Eng, Agrônomo. Jonh Victor Lucas Lima (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus Todo-Poderoso, fonte de amor, força e capacitação. Foi Ele quem me sustentou diariamente e tornou possível cada conquista desta caminhada. Agradeço, igualmente, à minha Mãe do Céu, por sua proteção constante e por me acolher sob seu manto maternal.

À minha avó, Maria das Graças Medeiros, dedico um agradecimento especial. Sua presença, apoio incondicional e esforços incansáveis foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Mesmo sem compreender todas as etapas, fiz tudo o que pôde, e o que não pôde, para que eu realizasse este sonho. É um orgulho imenso ser seu neto, e espero continuar sendo sempre o seu “orgulho”.

Agradeço também à minha mãe, Rozana de Souza Medeiros, por todo apoio, incentivo e dedicação. Ela sempre fez o possível e o impossível para que eu alcançasse o que ela mesma não teve a oportunidade de conquistar. Vocês duas, minha mãe e minha avó, sempre me proporcionaram o melhor, e sei que posso contar com vocês em qualquer circunstância. Espero um dia conseguir retribuir tudo o que fizeram por mim.

Às minhas irmãs, Clara Yasmim Medeiros dos Santos e Maria Geovana Medeiros dos Santos, agradeço pelo companheirismo, carinho e apoio constante. Levo vocês comigo em cada passo que dou. Ao meu pai, Francisco Costa dos Santos, agradeço pela presença e pelo papel paterno que desempenhou em minha vida, mesmo sem compartilharmos o mesmo sangue.

À toda a minha família, minha base e alicerce, deixo registrada minha profunda gratidão. É uma honra tornar-me o primeiro de muitos a se graduar, e desejo que este seja apenas o início de inúmeras conquistas que celebraremos juntos.

Agradeço também à minha namorada, Vanesca, pelo apoio constante desde o momento em que nos conhecemos. Sua presença, incentivo e dedicação foram de grande importância para a conclusão desta etapa. Mesmo com pouco tempo juntos, você se tornou essencial para a realização deste trabalho. É muito especial compartilhar cada momento ao seu lado. Te amo!

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) pelo privilégio de realizar minha formação em uma instituição pública de ensino superior. Estendo minha gratidão a todos os professores que, com dedicação e excelência, contribuíram para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior e Prof.^a Dra. Lindomar Maria da Silveira, sou profundamente grato pelo apoio, paciência, incentivo e pela oportunidade de integrar o grupo de pesquisa GEPPARG. Ao meu coorientador, Msc. Antonio Gideilson

Correia da Silva, registro minha sincera gratidão pela disposição constante, orientação cuidadosa e parceria ao longo deste trabalho.

Agradeço ao Grupo de Estudos e Pesquisa em Produção Agrícola e Recursos Genéticos Vegetais (GEPPARG), que me acolheu desde o terceiro semestre até o último dia nesta instituição. Foi uma honra dividir esta jornada com vocês. Cada momento no laboratório se tornou mais leve e enriquecedor graças à energia, amizade e espírito colaborativo que sempre demonstraram.

Aos amigos que caminharam comigo durante a graduação — Clara, Rislayne, Bianca, Sidney, Selton, Joaquim, Iarley, Esdras, Agnys, Camila, Daiane e, de maneira especial, Ramon, com quem mantive um vínculo ainda mais forte — deixo meu sincero agradecimento. Vocês foram minha rede de apoio e minha segunda família. Cada um, à sua maneira, marcou minha trajetória e contribuiu para a construção da minha formação acadêmica. Levarei cada um de vocês no coração por toda a vida.

Aos amigos de longa data — Ikaro, Douglas, David, Gordo e Kaik — mesmo à distância, agradeço pela torcida, amizade e apoio que sempre estiveram presentes em minha vida.

Ao CNPq, expresso minha gratidão pelo apoio financeiro, essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização desta etapa tão significativa da minha vida. Sou imensamente grato a Deus e a cada pessoa que escreveu comigo parte desta história. Que Ele abençoe a todos!

RESUMO

A salinidade é um dos principais estresses abióticos responsáveis por comprometer o crescimento e a produtividade das culturas, sobretudo em regiões semiáridas. Bioestimulantes como o nitroprussiato de sódio (NPS), doador de óxido nítrico, e a quitosana (CHI), um biopolímero natural, têm se destacado como ferramentas promissoras na mitigação dos efeitos da salinidade. O objetivo foi avaliar o efeito da aplicação exógena de NPS e CHI sobre o crescimento e o acúmulo de biomassa em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cv. BRS 323 submetidas ao estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, utilizando-se delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3×4, composto por três níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 3,5; 6,5 dS m⁻¹) e quatro tratamentos relacionados aos bioestimulantes (controle, NPS, CHI e NPS+CHI) com 4 repetições, totalizando 48 parcelas. Foram avaliadas variáveis de crescimento, incluindo altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, comprimento de raiz e produção de matéria seca de caule, folha, raiz e total. As salinidades (3,5 e 6,5 dS/m) reduziram o crescimento do girassol, com perdas significativas da altura, número de folhas, diâmetro do caule e biomassa, especialmente sob salinidade de 6,5 dS/m. A aplicação dos bioestimulantes, de maneira geral, mitigou os efeitos deletérios, sobretudo em salinidade de 3,5 dS/m. A combinação NPS + CHI promoveu os maiores incrementos no crescimento sob estresse de 3,5 dS/m, enquanto o NPS isolado apresentou maior eficiência sob estresse 6,5 dS/m. Apesar disso, os bioestimulantes não foram capazes de recuperar a matéria seca total das plantas sob salinidade. Os resultados evidenciam que a aplicação de NPS e CHI tem capacidade de melhorar o crescimento de plantas de girassol submetidas ao estresse salino.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L.; óxido nítrico; bioestimulantes; taxa de crescimento; estresse abiótico.

ABSTRACT

Salinity is one of the main abiotic stresses responsible for reducing plant growth and crop productivity, especially in semiarid regions. Biostimulants such as sodium nitroprusside (NPS), a nitric oxide donor, and chitosan (CHI), a natural biopolymer, have emerged as promising tools for mitigating the effects of salinity. This study aimed to evaluate the effect of exogenous application of NPS and CHI, applied individually and in combination, on the growth and biomass accumulation of the sunflower cultivar “BRS 323” (*Helianthus annuus* L.) under salt stress. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Mossoró, RN, using a randomized block design in a 3×4 factorial scheme, consisting of three salinity levels of irrigation water (0.5, 3.5, and 6.5 dS·m⁻¹) and four biostimulant treatments (control, NPS, CHI, and NPS+CHI) with four replications, totaling 48 experimental units. Morphological and growth variables were evaluated, including plant height, stem diameter, number of leaves, root length, and dry matter production. Salinity reduced sunflower growth, with pronounced decreases in plant height, leaf production, stem diameter, and biomass, especially under severe salinity. The application of biostimulants mitigated part of these deleterious effects, particularly under moderate salinity. The combination NPS + CHI promoted the greatest increases in plant growth under moderate stress, whereas NPS alone was more efficient under severe stress. Nevertheless, the biostimulants were not able to restore total dry matter under high salinity. The results highlight that the use of NPS and CHI is a promising strategy in plant stress physiology.

Keywords: *Helianthus annuus* L.; nitric oxide; biostimulants; growth rate; abiotic stress.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Dados climáticos de temperatura do ar máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar máxima e mínima (%) durante o período experimento. Mossoró-RN, UFERSA, 2025..... 18
- Figura 2 – Altura de planta (cm) da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entres os diferentes níveis de salinidade..... 22
- Figura 3 – Número de folhas da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entres os diferentes níveis de salinidade..... 23
- Figura 4 – Diâmetro do caule (cm) da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹) (A). Diâmetro de caule (cm) da cultivar de girassol “BRS 323” cultivada sob diferentes aplicações de bioestimulantes (B) Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entres os diferentes níveis de salinidade..... 24
- Figura 5 – Comprimento de raiz (cm) de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entres os diferentes níveis de salinidade.....25

- Figura 6 – Taxa de crescimento relativo da altura (dia⁻¹) (A), taxa de crescimento absoluto da altura (cm dia⁻¹) (B) da cultivar de girassol “BRS 323 Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entre os diferentes níveis de salinidade..... 26
- Figura 7 – Massa seca foliar (g) (A), massa seca do caule (g) (B), massa seca radicular (g) (C), massa seca total (g) (D) da cultivar de girassol “BRS 323 Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entre os diferentes níveis de salinidade..... 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Analise química do solo utilizado na área experimental. Mossoró-RN, UFERSA, 2025	18
Tabela 2	–	Analise da variância (ANOVA).....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

AP	Altura de planta
CE	Condutividade elétrica
CHI	Quitosana
DAS	Dias após a semeadura
DC	Diâmetro do caule
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
MSC	Massa seca de caule
MSF	Massa seca de folha
MSR	Massa seca de raiz
MST	Massa seca total
NF	Número de folhas
NO	Óxido nítrico
NPS	Nitroprussiato de sódio
ROS	Espécies reativas de oxigênio
TCAA	Taxa de crescimento absoluto da altura
TCRA	Taxa de crescimento relativo da altura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Cultura do girassol (<i>helianthus annuus</i> l.).....	12
2.2 Estresse salino na agricultura	14
2.3 Nitroprussiato de sódio e quitosana	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Local do experimento	18
3.2 Delineamento experimental	19
3.3 Semeadura e tratos culturais	19
3.4 Irrigação e aplicação dos tratamentos	19
3.5 Coleta de dados	20
3.6 Análise estatística.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	29

1. INTRODUÇÃO

Os estresses abióticos são condições ambientais adversas que afetam negativamente as plantas em seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (Manzoor et al., 2022). A salinidade é um dos principais estresses abióticos, causador de várias anormalidades fisiológicas nas plantas (Balasubramaniam et al., 2023). A salinidade compromete o crescimento vegetal por causar estresse osmótico e toxicidade iônica, podendo levar à perda de turgidez celular e até à morte da planta (Han et al., 2022). O excesso de NaCl no solo prejudica funções celulares e processos metabólicos, afetando tecidos e germinação (Balasubramaniam et al., 2023). Além disso, a salinidade, aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), que danificam membranas e proteínas e alteram o potencial eletroquímico, dificultando a absorção de nutrientes (Hualpa-Ramirez et al., 2024).

Para reduzir os efeitos deletérios causados pela salinidade algumas alternativas estão sendo estudadas, dentre elas estão os bioestimulantes (Miceli; Moncada; Vetrano, 2021). Compostos como o nitroprussiato de sódio (NPS), fonte de óxido nítrico, e a quitosana (CHI), um biopolímero natural, têm se destacado por suas propriedades que auxiliam na mitigação dos efeitos negativos da salinidade, promovendo maior tolerância e desempenho das plantas (Amâncio et al., 2022; Balusamy et al., 2022).

O NPS doa óxido nítrico (NO) que atua como molécula sinalizadora e regula os processos fisiológicos e bioquímicos especiais da planta sob condições de estresse (Jabeen et al., 2021). O NO age eficazmente interagindo com fitormônios, como o ácido abscísico, ácido salicílico e ácido jasmônico e etileno, e de outras moléculas sinalizadoras como ROS e melatonina, além de regular a expressão gênica influenciando a metilação do DNA e a acetilação de histonas, aumentando a taxa fotossintética e melhorando o desenvolvimento vegetal mesmo sob estresse salino (Sedlářová et al., 2025). Estudos mostraram que a aplicação exógena NPS foi capaz de melhorar a tolerância ao estresse salino em plantas de trigo e aprimorar os atributos morfológicos e fisiológicos de plantas de soja estressadas pela salinidade (Jabeen et al., 2021; Maslennikova; Lastochkina; Shakirova, 2022).

A CHI é um biopolímero derivado de quitina extraídos de diversas fontes naturais, incluindo animais e organismos marinhos, como crustáceos, com propriedades biodiversas, solubilidade única e caráter policatiônico (Hemmami et al., 2024). Ela atua nas plantas como um bioestimulante e protetor antioxidante, ativando mecanismo de defesas da planta, aumentando os teores de K^+ , prolina e fenol, e influenciando atividades das enzimas de catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase para mitigar os efeitos dos estresses abióticos (Elkarmout; Yang; Hassan, 2022). Estudos indicam que a aplicação exógena de quitosana é

capaz de aumentar a resiliência das plantas submetidas ao estresse salino, devido a capacidade de modular a expressão gênica e aumentar a atividade de enzimas responsáveis pela defesa da planta contra o estresse (Soostani et al., 2025). Mulaudzi et al. (2022) demonstraram que a quitosana foi capaz de eliminar ROS em plantas de sorgos sob estresse salino, além de observar reduções em marcadores oxidativos como prolina e açúcares solúveis totais, indicando que esse composto tem capacidade de reduzir danos oxidativos.

No semiárido a produção agrícola é dificultada principalmente pela baixa pluviosidade da região, sendo a principal alternativa para esse problema o uso de irrigação. Utilizar de água de irrigação proveniente de poços artesianos promove a salinização do solo e prejuízos ao cultivo (Sarmiento et al., 2023). Diante desse cenário a utilização de compostos como nitroprussiato de sódio e quitosana surgem como alternativas para garantir a produtividade das lavouras. Tendo em vista que a utilização isolada desses compostos já demonstra ser bastante eficiente na literatura, faz-se necessário avaliar o efeito combinado desses compostos em culturas de importância econômica.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) destaca-se como uma cultura de grande importância econômica e adaptabilidade, sendo cultivado em diversas regiões do mundo devido à sua tolerância moderada a condições adversas, como seca e salinidade (Han et al., 2022). Essa espécie é considerada uma oleaginosa de alto valor agregado, utilizada tanto na produção de óleo comestível quanto como matéria-prima para biocombustíveis e ração animal (Céccoli et al., 2022). Além disso, o girassol apresenta um sistema radicular profundo e eficiente, que contribui para a exploração de camadas mais úmidas do solo e para uma maior resistência a estresses abióticos (Roy; Singh, 2024).

Dessa forma pressupõe a hipótese que a CHI e o NPS promovem melhorias nos parâmetros de crescimento e no acúmulo de biomassa das plantas quando submetidas a condições salinas. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação exógena de nitroprussiato de sódio e quitosana sobre o crescimento e o acúmulo de biomassa em plantas de girassol cv. BRS 323 submetidas ao estresse salino.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.)

O girassol é uma planta pertencente à família Asteraceae, que teve a América do Norte como centro de origem, sendo altamente cultivada em todos os continentes, se adaptando a diferentes regiões e cultivos, inclusive no Brasil (Camargo et al., 2024). A utilização do girassol ocorreu inicialmente como planta ornamental, porém, hoje observa-se uma diversidade de produtos e subprodutos proveniente do girassol, desde o consumo da semente, que contém aproximadamente 35% de óleo, até utilização na indústria de cosméticos e nutrição animal (Giannini et al., 2022a)

O girassol é uma cultura de ciclo anual com caule ereto e não ramificado com apenas uma única inflorescência dominante heliotrópica, com ampla adaptabilidade e bastante resistente a estresse hídrico (Giannini et al., 2022b). A semente do girassol é reconhecida mundialmente pelas suas características nutritivas, com valores médios de proteína, lipídios e cinzas variando em 34%, 65% e 2%, respectivamente, evidenciando seu elevado valor proteico-energético (Petraru; Ursachi; Amariei, 2021) Além disso, as sementes de girassol são utilizadas como alimento funcional, devido a predominância na sua composição de ácidos graxos de cadeia insaturada, vitaminas antioxidantes, como a vitamina E, e Minerais como magnésio, que auxiliam na saúde cardiovascular e metabólica (Puraikalan; Scott, 2023).

A produção global de girassol ultrapassa 50 milhões de toneladas anuais, cultivadas em mais de 28 milhões de hectares. Ucrânia e Rússia são responsáveis por mais de 50% da produção mundial, seguidas pela União Europeia, Argentina e China. O girassol é a terceira oleaginosa mais produzida no mundo, atrás apenas da soja e da colza (USDA, 2025). O Brasil ocupa a 15ª posição de maior produtor de semente de girassol, com aproximadamente 99 mil toneladas anuais (USDA, 2025). O cultivo é realizado principalmente como cultura de rotação ou sucessão, especialmente após a soja, e ganha espaço devido ao interesse em óleo vegetal, ração animal e biodiesel (Dalchiavon et al., 2020).

A produção de girassol no Brasil apresenta grande potencial, mas enfrenta desafios agronômicos, ambientais que limitam sua expansão e competitividade. Um dos principais entraves é a baixa área cultivada quando comparada a grandes commodities como soja, restringindo-se a pequenos cultivos com tecnificação limitada e sem manejo especializado (Almeida Sorano et al., 2020)

Devido à baixa tecnologia na produção e pouco interesse produtivo, a cultura enfrenta variabilidade edafoclimáticas em seu cultivo, exposta a solos com limitações físicas (compactação, baixa drenagem e pouca permeabilidade) e químicas (ácides, intoxicação por Al,

baixa fertilidade) e, principalmente os estresses abióticos como, deficiência hídrica, salinidade e altas temperaturas, reduzindo ainda mais a produtividade potencial da cultura (Arenas-Julio et al., 2021).

Há uma promissora expectativa na expansão da cultura do girassol como alternativa sustentável para o semiárido nordestino devido a sua grande capacidade de adaptação a déficit hídrico e possibilidade de inserção em sistemas produtivos diversificados, como é praticado na agricultura familiar (Puttha et al., 2023). Dentre os diversos usos, a cultura tem grande destaque pelo elevado teor de óleo encontrado em sua semente e da qualidade do biodiesel produzido a partir desse óleo, onde todos os parâmetros de qualidade avaliados no biodiesel, como viscosidade, poder calorífico, índice de acidez, índice de iodo, índice de saponificação, índice de cetano e ponto de fluidez se encontram dentro das normas de qualidade internacional ASTM (American Society for Testing Materials) (Mahmood et al., 2022).

O desenvolvimento no cultivo do girassol no Brasil deve impulsionar tecnologias no manejo da cultura como adubação equilibrada, manejo de irrigação e colheita mecanizada. Pesquisas realizadas mostram que a cultura responde significativamente a adubação orgânica e mineral (Freitas et al., 2020). Além de demonstrar capacidade de produção com água de qualidade inferior (Gonçalves et al., 2020) aumentando ainda mais a possibilidade de produção sustentável da cultura.

O melhoramento genético vem aumentando os números de pesquisas avançadas na cultura do girassol com marcadores moleculares e cruzamento, além de tecnologias genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica, que favorecem uma melhor identificação dos mecanismos moleculares envolvidos nas características qualitativas (Jocković et al., 2021). Contudo, a utilização de métodos convencionais como cruzamento e análise de heterose, são fundamentais para a produção de híbridos com características superiores, como maior produtividade e maior teores de óleo, principalmente, devido à grande variabilidade genética nos diferentes genótipos (Ishfaq Ahmed et al., 2025; Rikkala et al., 2024).

Uma característica bastante valorizada é a tolerância aos estresses abióticos como salinidade, deficiência hídrica, temperatura. Existem algumas famílias genéticas já identificadas que apresentam expressão diferencial sob estresses abióticos, atuando positivamente na regulação em situações de seca e salinidade (Song et al., 2022; Zhang et al., 2024a, 2024b, 2025). Uma pesquisa realizada para avaliar o rendimento de aquênios (sementes), observou que há cultivares comerciais que toleram a salinidade da água de irrigação sem perdas significativas na produção e, também, cultivares que se beneficiaram da salinidade aumentando no rendimento e qualidade do óleo nos aquênios (Céccoli et al., 2022).

2.2 Estresse salino na agricultura

O estresse salino é definido como uma condição onde o excesso de sais concentrado, no solo ou na água de irrigação, é suficientemente alta ao ponto que comprometa o desenvolvimento da planta (Ahmed, 2022). Esse estresse interfere no desenvolvimento das plantas devido a capacidade da alta concentração de sais, como cloretos, carbonatos e sulfatos, de reduzir o potencial hídrico do solo, dificultando a absorção de água pelas raízes, além de causar toxicidade por Na^+ e Cl^- (Nawaz et al., 2023)

Os primeiros relatos de salinização do solo por meio da irrigação, remonta ao início da agricultura irrigada em terras áridas e semiáridas durante as primeiras civilizações, onde praticas indevidas levaram ao acúmulo de sais e degradação dos solos a exemplo da mesopotâmia (Shahid; Zaman; Heng, 2018). Estima-se atualmente que cerca de 25% do solo total e 33% do solo irrigado do mundo são afetadas pela salinidade, podendo aumentar para 50% até 2050 se as medidas responsáveis não forem tomadas (Singh, 2021). Estudos sobre os efeitos da salinidade no solo foram iniciados a partir do século XX, onde evidenciou-se problemas com a agricultura irrigada em países como China, Índia, Egito e Estados Unidos (Singh, 2021)

A salinização do solo pode ocorrer de duas formas, natural e induzida. As fontes naturais são diversas desse a evaporação, dissolução de sais solúveis, intrusão de água do mar, processo de filtração por membrana até origem geotérmica (Li et al., 2020). Já a salinização causada por ação antropogênica, são causadas por atividades diretas e indiretas, como uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, drenagem deficiente, aplicação de sais para degelo em estradas, despejo de efluentes industriais e agrícolas, e consumo de recursos naturais (Zhang et al., 2023).

O estresse salino prejudica os fatores fisiológicos, morfológicos e metabólicos nas plantas (Balasubramaniam et al., 2023). Inicialmente, ocorre o estresse osmótico, onde as plantas diminuem a capacidade de absorção pelas raízes ocasionando a perda de água celular, diminui o turgor da célula, diminui a transpiração ao fechar os estômatos e reduzir a entrada de CO_2 , limitando a fotossíntese, acumulando hormônio como ácido abicísico e aumentando o cálcio no citosol (Yu; Chao; Zhao, 2024). Em paralelo, ocorre o estresse iônico devido o acúmulo excessivo dos íons Na^+ e Cl^- resultando, principalmente, no desequilíbrio celular, reduzindo a eficiência metabólica e afetando a na absorção de elementos essenciais como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Basu et al., 2021). O efeito desses estresses combinados resulta no aparecimento de espécies reativas de oxigênio que causam a degradação de lipídios e proteínas e do DNA das células vegetais (Ondrasek et al., 2022)

A salinização apresenta uma ameaça significativa aos agroecossistemas e seus efeitos continuarão a ser exacerbados devidos a mudanças climáticas, limitando a qualidade e rendimento dos alimentos ameaçando a segurança alimentar (Ondrasek; Rengel, 2021). A insegurança é acentuada pelas quantidades de culturas, base alimentar de muitas populações, sensíveis a salinidade, como batata-inglesa, batata-doce, arroz, trigo, milho, cenoura, tomate e alface (El-Ramady et al., 2024) Em regiões como o semiárido onde há baixas precipitações e a maior parte da produção é proveniente de irrigação (Franco-Luesma; Caverio; Álvaro-Fuentes, 2025) A salinidade se mostra como um dos agravantes aos processos de degradação do solo, tendo em vista que as áreas cultivadas e desertificadas mostram uma concentração de sódio e cloreto mais de 100% maior que em áreas nativas (Pessoa et al., 2022).

Além do solo do semiárido ser predisposto a salinização, a água de irrigação tem grande influência na diminuição do rendimento das culturas, tendo em vista que a maior parte da água utilizada para irrigação são proveniente de poços artesianos (Sarmiento et al., 2023). Outro agravante a baixa tecnologia utilizada para prevenir esses problemas na água de irrigação, pesquisas já demostram que o uso de dessalinizadores por membrana de osmose reversa são eficazes no controle da salinidade nas águas de irrigação (Neto et al., 2025). Estudos evidenciam que manejos como a drenagem de perfil de solo, feita por tubos subterrâneos, é essencial para o controle racional da salinização do solo por meio de água de irrigação (Yang et al., 2021).

A biotecnologia e os conhecimentos sobre fisiologia estão sendo aplicados para desenvolver mecanismos e estratégias para evitar ou mitigar os efeitos da salinização na agricultura (Hassan et al., 2025). Algumas alternativas como utilização de microrganismos e aplicação de compostos como biochar e selênio tem validada eficácia em melhorar a tolerância das plantas ao sal (Farouk; AL-Huqail, 2022; Navarro-Torre et al., 2023) Com os avanços das tecnologias genicas e a possibilidade de identificar variações genéticas em espécies cultivadas e selvagens associadas a tolerância a salinidade, o melhoramento de cultivares com tolerância a estresse salino já é consolidado em culturas comerciais como a melancia (Afzal et al., 2023; Liu et al., 2025).

Estudos apontam que manejos agronômicos devem ser adotados para que se minimize os efeitos da salinização, dentre as práticas tem destaque a aplicação de gesso que aumenta a penetração das raízes, favorece o balanço iônico e aumenta a atividade microbiana (Gashi et al., 2025). Cultivo de espécies extratora de sal do solo como a “erva-sal” (*Atriplex numulária*). Utilização de irrigação por gotejamento, atentando-se aos limites do manejo racional (Du et al.,

2023). E a utilização de culturas tolerante ao estresse é de suma importância para a produção agrícola em áreas com salinização (Alkharabsheh et al., 2021).

2.3 Nitroprussiato de sódio e quitosana

A descoberta do papel do óxido nítrico (NO) como molécula sinalizadora revolucionou a compreensão dos processos fisiológicos em plantas e animais (Khan et al., 2023). Em plantas o NO tem a capacidade de modulação gênica, interação com hormônios e antioxidantes, contribuindo para a defesa contra estresses bióticos e abióticos (Singhal et al., 2021). Essa capacidade é expressiva devido ao NO ser um radical livre, com estrutura molecular gasosa e incolor, que se difunde facilmente através da membrana plasmática (Khan et al., 2023). Atualmente o NO exerce um papel fundamental como uma molécula redox chave, envolvido na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas e nas interações planta-ambiente (Zhou et al., 2021).

O nitroprussiato de sódio (NPS) foi desenvolvido há mais de 70 anos se tornando um dos doadores de NO mais utilizados, especialmente no tratamento de hipertensão (Da Silva Filho et al., 2023). O uso de NPS como doador de NO expandiu-se para a fisiologia vegetal, onde ele é empregado para estudar os efeitos do NO como estratégia de resposta aos estresses abióticos no crescimento, desenvolvimento e metabolismo de plantas (Sundararajan et al., 2022). Atualmente, novas tecnologias têm surgido, principalmente com estudos de nanopartículas, para aumentar a eficiência na liberação de e segurança do NPS, ampliando ainda mais o seu potencial de utilização em diferentes áreas (Da Silva Filho et al., 2023).

O NPS, atuando como doador de NO, alivia os estresses abióticos das plantas a partir da modulação dos processos oxidativos e nitrosativos, reduzindo a produção de espécies reativas de oxigênio e promovendo a atividade de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase, catalase e peroxidases, o que diminui os danos oxidativos às células vegetais (Kaya; Uğurlar; Seth, 2024). Além disso, o NO desempenha um papel na regulação do metabolismo vegetal, pigmentos fotossintéticos, aumentando a tolerância das plantas aos efeitos do estresse salino (Ragaey et al., 2022).

A aplicação exógena de NPS tem se mostrado eficaz na mitigação do estresse salino em diversas espécies vegetais. Estudos apontam que o NPS foi eficiente em regular o crescimento vegetal e as vias bioquímicas de plantas de lentilhas submetidas a estresse salino moderado, aumentando principalmente o rendimento da cultura (Yasir et al., 2021). Em estudo realizado com a cultura do sorgo apontou que a pulverização de NPS foi eficaz em impedir a redução de pigmentos fotossintéticos e diminuiu a o conteúdo de marcadores do estresse oxidativo (Stefanov et al., 2023).

A quitosana (CHI) é um polímero de quitina descoberta por um químico francês, no século XIX, que conseguiu extrair esse polímero ao tratar a quitina encontrada no exoesqueleto de crustáceos (Vo et al., 2024). Desde a sua descoberta, a quitosana vem sendo estudada em diferentes áreas, incluindo medicina, agricultura e bioengenharia (El-Araby et al., 2024). As propriedades bioestimulantes da quitosana foram reconhecidas a partir de estudos que demonstraram capacidade de promover crescimento vegetal, induzir mecanismo de defesa das plantas e aumentar as suas capacidades de tolerância aos estresses bióticos e abióticos (Shahrajabian et al., 2021). Além da propriedade bioestimulante da quitosana, também se evidencia a sua capacidade protetora e eficácia no controle de doenças de plantas principalmente devido à sua ação antimicrobiana direta contra fungos, bactérias e vírus, atuando também na pós-colheita diminuindo significativamente a incidência de doenças e prolongando a vida útil dos produtos (Rajestary; Landi; Romanazzi, 2021; Riseh et al., 2022)

A quitosana age na planta estressada estimulando mecanismos de defesa antioxidante, regulação osmótica e modulação de genes relacionados à tolerância a estresses abióticos (Wang et al., 2021). Ela reduz a produção de espécies reativas de oxigênio e o dano oxidativo, aumentando a atividade de enzimas antioxidantes como catalase, superóxido dismutase e peroxidase, além de diminuir compostos como malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Dawood; El-Awadi; Sadak, 2024). Além disso, a quitosana pode modular a expressão de genes envolvidos em rotas de defesa e ativar vias hormonais dependentes de ácido abscísico, ácido salicílico e jasmonato, proporcionando respostas adaptativas ao estresse (Moenne; González, 2021). Em situações de salinidade, a quitosana regula o transporte de íons, favorecendo a compartimentação de sódio e mantendo a homeostase iônica, além de estimular a síntese de poliaminas e metabólitos secundários de defesa (Geng et al., 2020).

Estudos apontaram que a utilização de quitosana em plantas estressadas por salinidade obteve efeitos benéficos significativos. Como se pode observar em pesquisa realizada no Japão, onde a aplicação exógena de CHI foi capaz de aumentar a área foliar total da alface, o peso fresco da parte aérea e o peso seco da parte aérea e da raiz (Zhang et al., 2021). Além disso, numa pesquisa realizada em plantas de tomateiros sob estresse salino, observou-se que a aplicação foliar foi capaz de regular o equilíbrio sódio (Na^+) e potássio (K^+), reduzindo os teores de sódio, na ordem de 46,43% em média, e elevou os teores de potássio em média de 20,57% (Attia et al., 2021). Outros resultados revelaram que a CHI melhorou significativamente os parâmetros fotossintéticos, o conteúdo de pigmentos, o conteúdo de ascorbato (AsA) e glutatona (GSH), as atividades de enzimas antioxidantes e o conteúdo de proteína solúvel em mudas de milho sob estresse salino (Shen et al., 2024).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada na horta didática pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais (DECAF) da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil (5°12'28"S, 37°19'04"W, 24m de altitude), no período de 27 de março a 26 de abril de 2025. A região apresenta um clima árido e quente, com uma estação seca e chuvas durante o verão, classificado como BSh segundo Alvares et al. (2013). Os dados climáticos de temperatura máxima e mínima e umidade do relativa do ar máxima e mínima foram monitorados diariamente pela estação meteorológica da UFERSA (Figura 1)

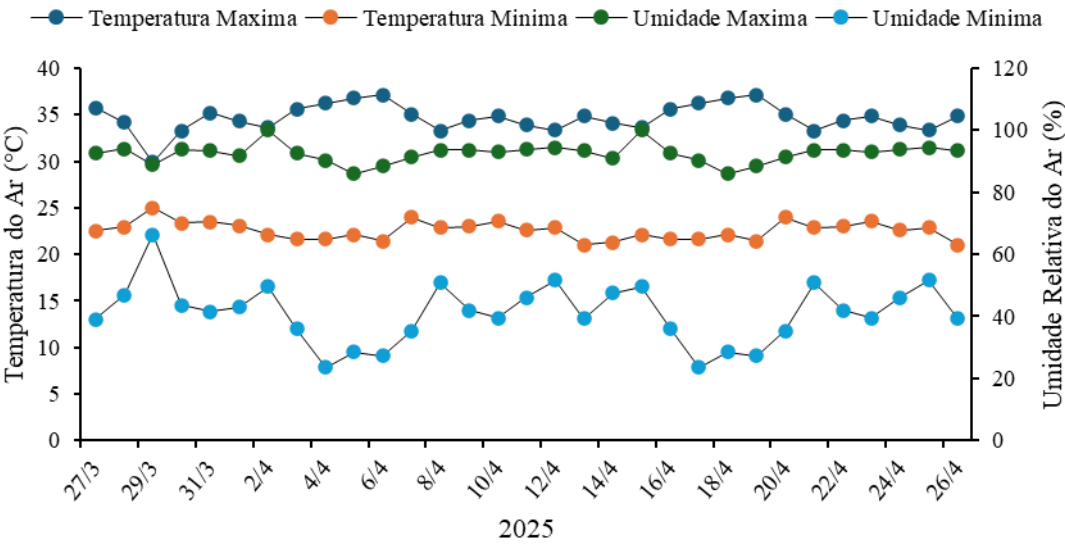


Figura 1. Dados climáticos de temperatura do ar mínima e máxima (°C) e umidade relativa do ar mínima e máxima (%) durante o período experimento. Mossoró-RN, UFERSA, 2025.

O solo utilizado no experimento foi coletado nas proximidades da casa de vegetação, na profundidade de 0 a 20 cm. Foi coletada uma amostra significativa e encaminhada ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) para a caracterização química (Tabela 1). A adubação foi realizada de acordo com a recomendação do boletim 100 (IAC, 2022) e os fertilizantes foram aplicados via fertirrigação.

Tabela 1. Análise química do solo utilizado na área experimental. Mossoró-RN, UFERSA, 2025

pH	CE	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
água	dS/m		mg/dm ³					cmol _c /dm ³				%		
6,9	0,05	75,3	109,8	20,8	3,54	0,66	0	0	4,57	4,57	4,57	100	0	2

pH – potencial hidrogeniônico: extraído em suspensão solo: água na proporção de 1:2,5; CE – condutividade elétrica; (H+Al) – acidez potencial; SB - Soma de bases; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica do solo a pH 7,0; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x4, com 4 repetições, considerando uma planta por parcela experimental. Os tratamentos foram compostos por três condutividades elétricas da água de irrigação ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$; $3,5 \text{ dS m}^{-1}$; $6,5 \text{ dS m}^{-1}$), três bioestimulantes e um tratamento controle: controle (aplicação de água destilada), nitroprussiato de sódio (NPS: 120 ml/L) (Ferreira et al., 2024), quitosana (CHI: 100 μ M) (Tabassum et al., 2024) e a combinação de ambos (NPS+CHI). Dessa forma, o experimento contou com um total de 12 de tratamentos e 48 parcelas experimentais (uma planta por parcela).

3.3 Semeadura e tratos culturais

Foram plantadas 3 sementes de girassol, cultivar BRS 323, em canos de PVC com volume de $3,93 \text{ dm}^3$ preenchidos com solo peneirado da localidade. O desbaste foi realizado 8 dias após a semeadura (DAS), deixando apenas uma planta por parcela experimental. O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente durante todo o experimento, sempre que necessário. Aos 18 DAS as plantas foram submetidas aos níveis de salinidade e aplicação exógena dos bioestimulantes.

3.4 Irrigação e aplicação dos tratamentos

A irrigação ocorreu diariamente, elevando o solo até 80% da capacidade de campo, com auxílio de um recipiente volumétrico de 250 ml. Os níveis de condutividade elétrica foram obtidos pela adição de cloreto de sódio (NaCl) na água de abastecimento local para obtenção das soluções, exceto para o nível de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ (controle – água de abastecimento local). Após confeccionadas as soluções salinas foram armazenadas em tambores com capacidade de 60 L e a reposição de água foi realizada conforme o necessário e a condutividade foi monitorada a cada 3 dias. As soluções de NPS (120 ml/L) e CHI (100 μ M) foram obtidas por dissolução em água destilada para um volume de 500 ml e aplicadas a cada 7 dias, totalizando 5 aplicações (20, 27, 34, 41 e 48 DAS). A aplicação ocorreu a partir da pulverização da solução por meio de um borrifador de plástico de 500 ml. O surfactante polissorbato 80 (Tween-80, 0,05% v/v) foi adicionado às concentrações de NPS e CHI para aumentar a adesão à folha.

3.5 Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu no início e ao final do experimento (18 e 56 DAS) Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (AP), medida com régua graduada em centímetros (cm); diâmetro do caule (DC), medido com paquímetro digital em milímetros (mm); número de folhas (NF), contadas manualmente. Essa avaliação foi realizada para a obtenção da taxa de crescimento relativo da altura e taxa de crescimento relativo da altura (TCRA e TCAA) calculadas de acordo com Benincasa (1988):

$$TCRA = \frac{A2 - A1}{t2 - t1} \text{ (cm dia}^{-1}\text{)} \quad \text{e} \quad TCAA = \frac{\ln A2 - \ln A1}{t2 - t1} \text{ (dia}^{-1}\text{)}$$

Onde: A1 = Valor da altura no período inicial;

A2 = Valor da altura no período final;

t1 = Tempo inicial;

t2 = Tempo final.

Ao fim do experimento (61 DAS) também foi avaliado comprimento da raiz, medido com régua graduada (cm). Posteriormente, folhas, caules e raízes foram acondicionados em sacos de papel e levados para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até atingirem peso contante. Após a secagem foram pesados, separadamente, todos os materiais com auxílio de uma balança analítica (0,001 g), para a obtenção dos dados de massa seca foliar (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST), sendo os resultados expressos em g por planta.

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando observado significância estatística ($p \leq 0,05$), foi realizado o teste de comparação de medias Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As variáveis foram analisadas utilizando o programa estatístico Rstudio (R Core Team, 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizado o teste da variância (Tabela 2) verificou-se que houver interação para as variáveis de altura de plantas, número de folhas, comprimento de raiz, taxa de crescimento absoluto da altura, taxa de crescimento relativo da altura, massa seca de folha, massa seca de caule, massa seca da raiz e massa seca total. Observou-se também efeito isolado de atenuante e salinidade para o diâmetro de caule.

Tabela 2. Análise da variância (ANOVA)

FV	GL	Altura de plantas (cm)	Nº de folhas	Diâmetro do caule (cm)	Comprimento de raiz (cm)	TCRA (dia ⁻¹)	TCAA (cm dia ⁻¹)	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MST (g)
Estresse salino	2	31,18**	2,51ns	18,40**	24,47**	17,81**	16,74**	24,42**	77,77**	90,12**	90,21**
Atenuantes	3	9,34**	12,29**	5,89**	6,85**	9,74**	8,68**	1,30ns	4,89**	2,19ns	0,138ns
Estresse × Atenuantes	6	8,19**	6,51**	1,98ns	22,43**	7,99**	7,58**	2,48*	8,70**	5,46**	3,527**
Resíduo	33	2,86	0,47	0,07	9,5	0	0,003	0,047	0,133	0,358	1,159
CV (%)	—	2,1	3,84	3,23	5	0,81	3,37	8,22	6,97	16,25	6,9

Quadrados médios e significância pelo teste F para diferentes variáveis avaliadas em plantas submetidas a níveis de estresse salino e atenuantes. ns: não significativo; * significativo a 5% ($p \leq 0,05$); ** significativo a 1% ($p \leq 0,01$).

O estresse salino causou impactos negativos sobre ao crescimento da cultivar de girassol “BRS 323”. Sem a aplicação de bioestimulantes a altura de plantas reduziu significativamente com o aumento do nível do estresse (Figura 2). Quando expostas a salinidade de 3,5 dS m⁻¹ as plantas apresentaram redução na altura de 6%, no entanto, o uso de CHI, NPS e a combinação de ambos mitigou os danos causados pelo estresse salino, com aumentos na altura das plantas em 4,9%, 3,6% e 5,9% respectivamente. As plantas que foram submetidas a estresse de 6,5 dS m⁻¹, obtiveram redução semelhante ao estresse de 3,5 dS m⁻¹, reduzindo em 11,6% a altura das plantas. A aplicação dos bioestimulantes foi capaz de reduzir o efeito da salinidade de 6,5 dS m⁻¹, promovendo um crescimento significativo quando comparado ao tratamento controle.

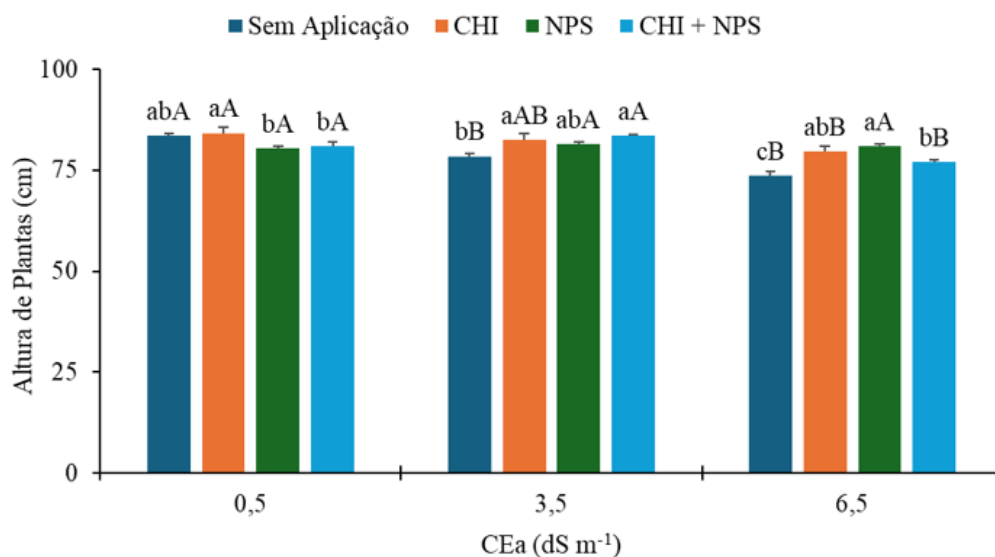


Figura 2. Altura de planta (cm) da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entres os diferentes níveis de salinidade.

O estresse salino prolongado pode reduzir a expressão de genes essenciais envolvidos no ciclo celular, levando a diminuição de células meristemáticas inibindo o crescimento vegetal (Balasubramaniam et al., 2023). Em contraste, a quitosana tem se demonstrado capaz de modular genes relacionados ao estresse salino, reforçando respostas adaptativas as plantas (Soostani et al., 2025). O nitroprussiato de sódio tem sido eficaz em estimular o fechamento estomático e manter o status hídrico das plantas estressadas aumentando a atividade de compostos osmoprotetores como prolina (Yasir et al., 2021).

As plantas apresentaram uma redução de 9,7% (CEa 3,5 dS m⁻¹) e 6,9% (CEa 6,5 dS m⁻¹) no número de folhas com o aumento da salinidade (Figura 3). Sob estresse de 3,5 dS m⁻¹, os bioestimulantes foram capazes de aumentar a produção foliar de forma significativa, sendo o tratamento CHI + NPS o que apresentou a melhor média (19,75 folhas por planta), seguido por NPS (18,5 folhas) e CHI (18,25 folhas). Entretanto, o estresse de 6,5 dS m⁻¹ também diminuiu significativamente a produção de folhas das plantas e, o NPS conseguiu manter a produção foliar a um nível superior ao controle.

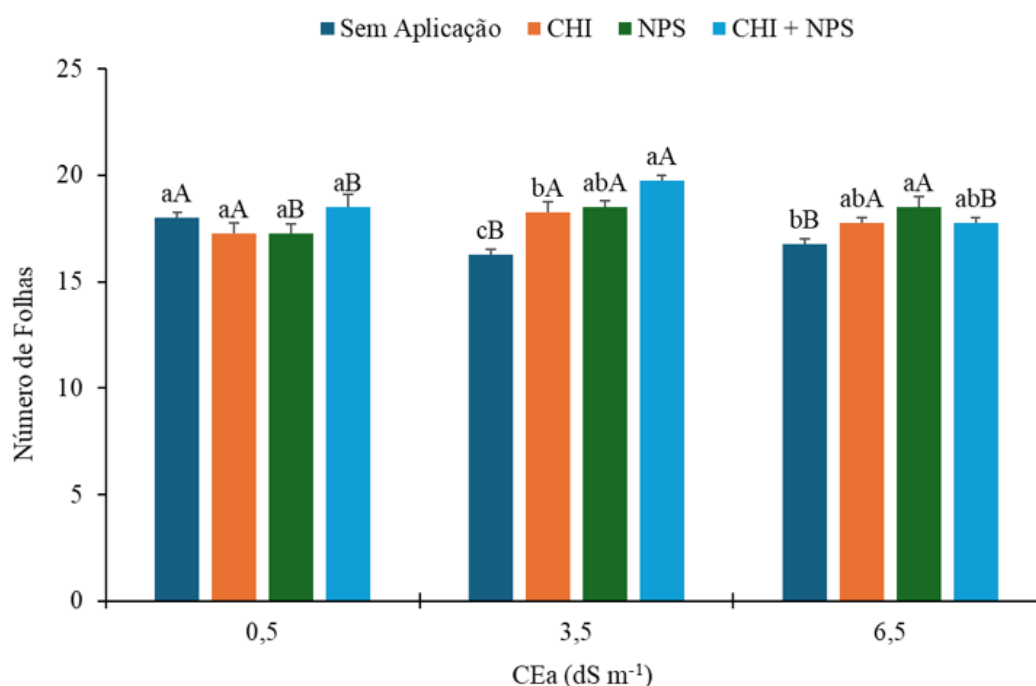


Figura 3. Número de folhas da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFRS, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entre os diferentes níveis de salinidade.

Uma justificativa para a redução na produção de folhas é que a planta ao sofrer os efeitos do estresse ativa mecanismos de defesa que alteram as suas características morfológicas para evitar a perda de água (Du et al., 2024). A salinidade interfere diretamente no balanço osmótico e na fisiologia das plantas, como fechamento de estômatos, redução na fotossíntese e diminuição no balanço osmótico e turgidez celular (Hualpa-Ramirez et al., 2024). Esses fenômenos reduzem o conteúdo de água das folhas aumentando os teores de celulose, que causam um desenvolvimento deficiente das folhas e senescência prematura (Truşcă et al., 2023).

Infere-se que a quitosana tenha aumentado a produção de folhas pela planta principalmente pela estimulação da síntese de osmólitos que ajudam a manter o turgor celular que favorece a hidratação das folhas estressadas, minimizando a toxidez e preservando a função fotossintética dessas folhas (Zhang et al., 2021). Por o nitroprussiato de sódio estimular hormônios do crescimento como o ácido indolacético (AIA), justifica o aumento no número de folhas em todos os níveis salinos. O óxido nítrico (NO) aumenta o balanço iônico favorecendo a absorção de K⁺ e Ca²⁺ enquanto reduz o acúmulo de Na⁺ e Cl⁻ (Zangani et al., 2023). Resultados semelhantes foram observados em estudos realizados por Cao et al., 2025; Kumari; Bhatla, 2023, onde a utilização dos bioestimulantes mantiveram a hidratação foliar garantindo o desenvolvimento vegetativo das plantas de girassol submetidas ao estresse salino.

Não houve efeito significativo para a interação entre salinidade e bioestimulantes. Observou-se efeito significativo isolado para os dois tratamentos. A salinidade reduziu o diâmetro do caule em 4,7% e 3,5% no estresse 3,5 dS m⁻¹ e 6,5 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 4A). O diâmetro do caule aumentou com a aplicação de NPS e NPS + CHI, sendo o tratamento que utiliza os bioestimulantes combinados o que obteve maior média 8,5 mm (Figura 4B).

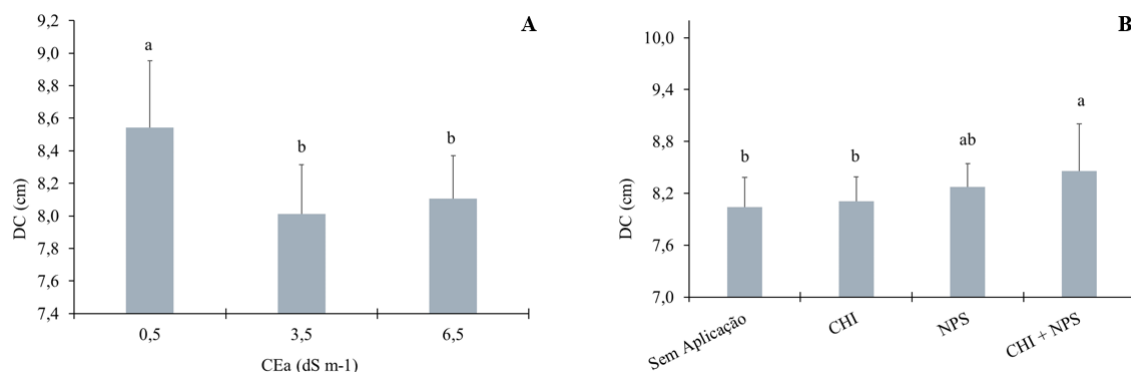


Figura 4. Diâmetro do caule (cm) da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entre os diferentes níveis de salinidade.

A redução do diâmetro de caule está associada à diminuição da capacidade da planta em manter processos fisiológicos essenciais em situação de estresse salino, como a condutância estomática e a eficiência fotossintética (Guimarães et al., 2021). Esse efeito ocorre porque a salinidade interfere na fotossíntese, na eficiência do uso da água e na integridade das células vasculares, levando à redução no diâmetro do caule (Canavar et al., 2025).

O NO tem efeitos benéficos no aumento no desenvolvimento vegetal de plantas e sua utilização combinada com a quitosana tem efeito sinérgico promovendo crescimento, desenvolvimento e resistência a estresses, o que pode favorecer o aumento do diâmetro do caule (Ullah et al., 2024). Resultados relevantes da utilização de NO e CHI em oleaginosas foram observados por Methela et al., 2023, onde os dois bioestimulantes combinados demonstraram um efeito positivo no vigor geral da planta, que pode refletir no aumento do diâmetro do caule.

A salinidade reduziu o comprimento de raiz em 16,4% e 37,9% das plantas submetidas ao estresse de CEa 3,5 dS m⁻¹ e CEa 6,5 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 5). A aplicação exógena de CHI conseguiu atenuar o estresse de CEa 3,5 dS m⁻¹, enquanto a aplicação de CHI + NPS aumentou o comprimento da raiz em apenas 1,15%. A aplicação exógena dos bioestimulantes aumentou o comprimento de raiz das plantas submetidas ao estresse de CEa

6,5 dS m⁻¹. Os tratamentos CHI e CHI + NPS promoveram crescimento das raízes em todos os níveis de estresse.

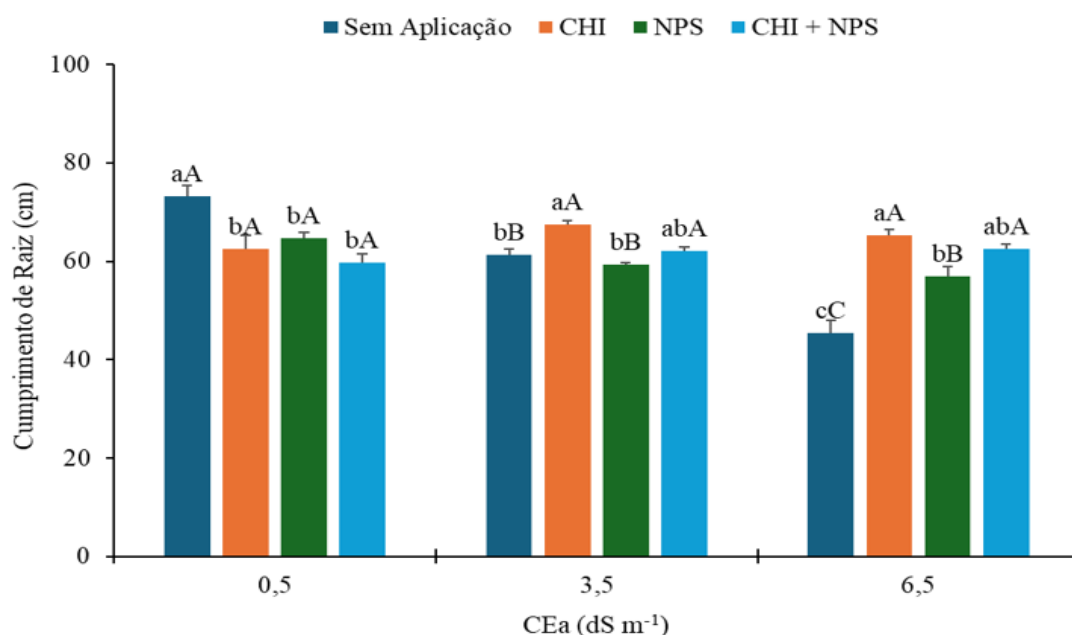


Figura 5. Comprimento de raiz de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entres os diferentes níveis de salinidade.

A salinidade ao diminuir a homeostase celular reduz o conteúdo da célula levando ao aumento da produção de ROS que danificam as células radiculares inibindo a sua divisão, justificando assim o comprimento reduzidos das raízes que sofreram estresse. Além disso, o estresse salino provoca desequilíbrios hormonais, como redução de auxinas e giberelinas nas raízes, que são essenciais para o crescimento radicular, e aumento do ácido abscísico, que está associado à inibição do crescimento (Başak et al., 2025).

Estudos realizados com a cultura utilizando a quitosana e doadores de óxido nítrico (Kumari; Bhatla, 2023; Shahbaz et al., 2025) obtiveram resultados semelhantes ao promover o crescimento de raízes de plantas de girassol com a aplicação dos bioestimulantes, pelo efeito antioxidante nas células meristemáticas das raízes. O efeito combinado ocorre principalmente pela sinergia das vias de atuação das diferentes moléculas. A CHI garante maior homeostase e turgidez das células (Mulaudzi et al., 2022), enquanto o NO reduz o dano oxidativo causado pelo estresse salino, aumentando a atividade de enzimas antioxidantes como catalase e ascorbato peroxidase, o que diminui a acumulação de ROS e o H₂O₂ (Hasanuzzaman et al., 2021; Prajapati et al., 2023).

Houve uma redução discreta sobre a taxa de crescimento relativo da altura para os níveis de salinidade em comparação ao controle, porém, houve interação positiva entre os

bioestimulantes nas diferentes salinidades (Figura 6A). Observou-se redução na taxa de crescimento absoluto da altura em todos os níveis de estresse (Figura 6B). Os bioestimulantes conseguiram reduzir os efeitos negativos sobre os parâmetros analisado sob salinidade moderada. Os bioestimulantes NPS e CHI foram capazes de aumentar os parâmetros das plantas que foram submetidas ao estresse de CEa 6,5 dS m⁻¹. O NPS isolado foi capaz de manter elevados níveis de crescimento absoluto de plantas em todos os níveis de salinidade

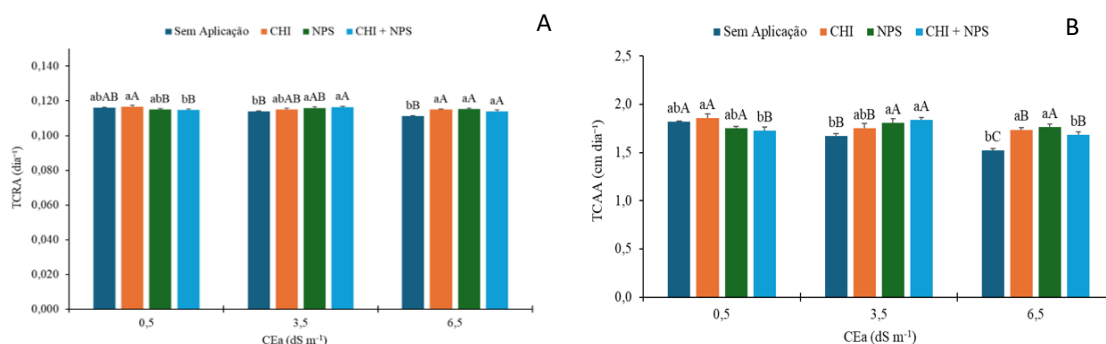


Figura 6. Taxa de crescimento relativo da altura (dia⁻¹) (A), taxa de crescimento absoluto da altura (cm dia⁻¹) (B) da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entre os diferentes níveis de salinidade.

A TCRA pouco reduzida indica uma eficiência da cultura em continuar a produzir material vegetal sob estresse. A justificativa para a redução discreta com o aumento da salinidade se dá pela considerada tolerância que a cultura do girassol tem ao estresse salino, em estudo recente realizado por Ferreira et al., 2024 mostram que níveis moderados de salinidade promovem um desenvolvimento no crescimento vegetativo do girassol.

A redução severa da TCAA comprova os efeitos deletérios que a exposição prolongada a salinidade causa na produção dos tecidos vegetais. Isso ocorre geralmente devido a uma resposta adaptativa da planta em prezar pela sobrevivência, reduzindo a transpiração no intuito de economizar água (Du et al., 2023). Em estudo realizado por Chowdhury et al., 2023 observou-se resultados semelhante ao avaliar os efeitos da salinidade no crescimento e rendimento do girassol, evidenciando que a um nível moderado e em um curto período de tempo as plantas apresentam um aumento na produção vegetal, no entanto, com o aumento da exposição as plantas reduziram seus parâmetros.

Os bioestimulantes conseguiram aumentar a TCRA e a TCAA principalmente pela sinalização oxidativa que prepararam a plantas para reagir ao estresse imediato. Resultados semelhantes forma dispostos nos trabalhos de Jain; Bhatla, 2018 e Bakhoun; Sadak; Badr, 2020 onde a aplicação dos bioestimulantes foram capazes de diminuir a redução imediata na altura e

rendimento das plantas de girassol estressadas por salinidade, de maneira que o crescimento diário das plantas estressadas se equiparasse estatisticamente com as plantas dos tratamentos controle.

A massa seca de folha reduziu significativamente com o aumento da salinidade (Figura 7A), na ordem de 13% e 15%. A aplicação isolada de NPS conseguiu aumento significativo para MSF sob a salinidade moderada, enquanto o seu uso combinado com CHI obteve a maior média com aumento de 16,9% quando comparado ao tratamento sem aplicação.

A matéria seca do caule foi reduzida na ordem de 18,6% e 34,4% com o aumento da salinidade (Figura 7B). A aplicação dos bioestimulantes não promoveram aumentos significativos em estresse de CEa 3,5 dS m⁻¹. A aplicação de CHI causou redução na MSC sob salinidade severa, enquanto o NPS promoveu aumento de 9% e a aplicação combinada não diferenciou significativamente.

O aumento na salinidade reduziu a produção de massa seca da raiz em 16,6% e 37,7% no estresse de CEa 3,5 dS m⁻¹ e CEa 6,5 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 7C). A aplicação de bioestimulantes não diferenciou significativamente em nenhum nível do estresse. A aplicação de CHI, NPS e a combinação garantiu aumentos significativos na produção de massa seca na raiz no tratamento controle, sendo a quitosana a que promoveu a melhor média de peso 6,48g.

Houve redução da massa seca total de forma significativa para o aumento da salinidade (Figura 7D), porém, a aplicação dos bioestimulantes não promoveu aumento na matéria seca total em nenhum nível de estresse. A quitosana isolada promoveu aumento de 8,7% na MST no tratamento controle, enquanto a aplicação de NPS isolado e combinado promoveu perdas de rendimento.

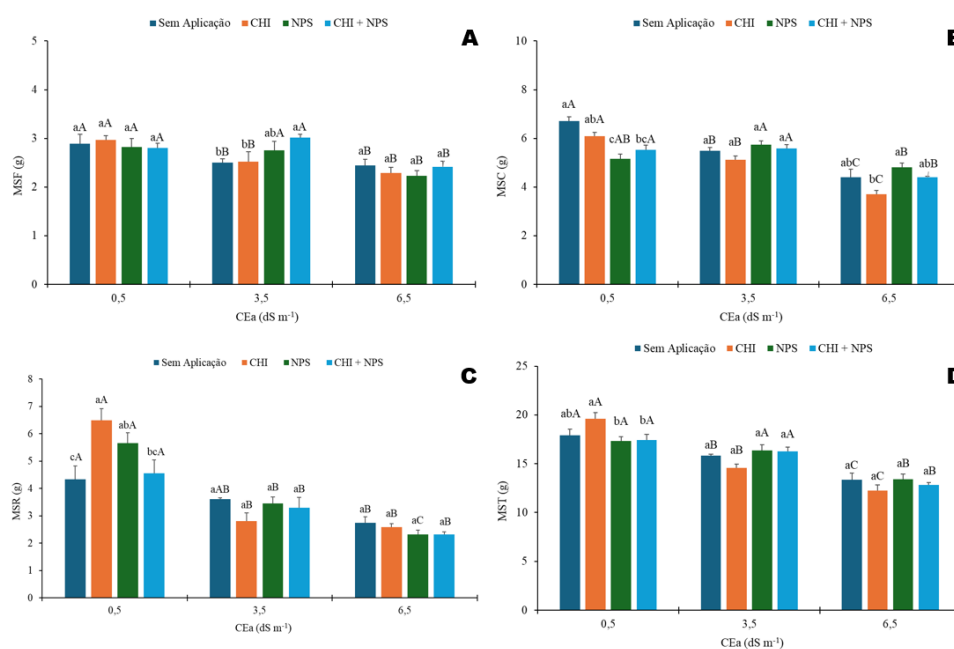


Figura 7. Massa seca foliar (g) (A), massa seca do caule (g) (B), massa seca radicular (g) (C), massa seca total (g) (D) da cultivar de girassol “BRS 323”. Cultivada sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CEa 0,5 dS m⁻¹, 3,5 dS m⁻¹, 6,5 dS m⁻¹). Mossoró-RN, UFERSA, 2025. Letras minúsculas indicam diferenças significativas para os tratamentos dentro dos níveis de salinidade e letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas para os tratamentos entre os diferentes níveis de salinidade.

A redução nas matérias secas das diferentes estruturas pode se justificar pelo fato de todos os componentes vegetais terem sido reduzidos pelos efeitos da salinidade. Os aumentos estatísticos promovidos pela utilização dos bioestimulantes nos outros parâmetros já analisados neste estudo, não conseguiram causar impactos sobre os efeitos deletérios no acúmulo de biomassa das plantas estressadas.

A explicação para o aumento de MSF em condições de salinidade moderada submetidas a aplicação de NPS pelo fato do bioestimulante aumentar o conteúdo de prolina e outros osmólitos, que ajudam a manter o balanço osmótico e a retenção de água nas folhas, favorecendo o crescimento e o acúmulo de biomassa seca (Hasanuzzaman et al., 2021). A aplicação conjunta dos bioestimulantes promoveram mais uma vez um incremento produtivo na produção de massa seca foliar ressalta novamente o efeito sinérgicos entre CHI e NPS, como já fora observado outras vezes ao longo desse estudo.

O incremento expressivo na produção de massa radicular em condições de salinidade controle com a utilização de quitosana e nitroprussiato de sódio, isolados se dá pelas suas capacidades de melhorarem a absorção de nutrientes como K⁺, N, P, Mg, Fe favorecendo o desenvolvimento radicular mesmo em condições adversas (Mehmood et al., 2020). O efeito sinérgico da combinação dos bioestimulantes também pode ser observado nesse caso de forma semelhante ao que mostra o estudo realizado por Gomes et al., 2022, onde foi estudado partículas de quitosana em sinergia com doadores de NO, onde a interação entre eles conseguira promover rendimentos superiores na produção radicular.

5. CONCLUSÕES

A salinidade reduziu significativamente o crescimento do girassol, afetando altura, número de folhas, diâmetro do caule, comprimento de raiz e produção de biomassa.

Os bioestimulantes atenuaram parte desses efeitos, principalmente em salinidade de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$. A combinação CHI + NPS apresentou o melhor desempenho sobre o estresse de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$, promovendo maiores incrementos no crescimento das plantas de girassol. O NPS isolado foi mais eficiente que a CHI isolada na maioria parâmetros, especialmente na manutenção do crescimento sob estresse de $6,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Apesar dos efeitos positivos dos bioestimulantes, a matéria seca total não foi restabelecida sob estresse, indicando que a salinidade prolongada compromete fortemente o acúmulo de biomassa.

REFERÊNCIAS

- AFZAL, Muhammad et al. Potential Breeding Strategies for Improving Salt Tolerance in Crop Plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 42, n. 6, p. 3365–3387, 3 jun. 2023.
- AHMED, Mohamed Abdulla. Physiological effects of salt stress on plant growth. **Tikrit Journal for Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 93–97, 1 set. 2022.
- ALKHARABSHEH, Hiba M. et al. Field Crop Responses and Management Strategies to Mitigate Soil Salinity in Modern Agriculture: A Review. **Agronomy**, [s.l.], v. 11, n. 11, p. 2299, 13 nov. 2021.
- ALMEIDA SORANO, Leticia et al. Mapeamento da produtividade do girassol (*Helianthus annuus* L.) e dos atributos do solo em área de plantio direto. In: INSTITUTO INTERNACIONAL DESPERTANDO VOCAÇÕES, 2020.
- ÁLVARES, Clayton A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMÂNCIO, Vinícius Oliveira et al. Óxido Nítrico como Mitigador de Estresses em Plantas. In: **Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisas**. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2022. p. 115–126.
- ARENAS-JULIO, Yasmani Rafael et al. Producción de girasol en función del tipo de suelo, nitrógeno y densidad de población. **Acta Agrícola y Pecuaria**, [s.l.], v. 7, n. 1, 1 jan. 2021.
- ATTIA, Mohamed S. et al. Impact of Foliar Application of Chitosan Dissolved in Different Organic Acids on Isozymes, Protein Patterns and Physio-Biochemical Characteristics of Tomato Grown under Salinity Stress. **Plants**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 388, 18 fev. 2021.
- BAKHOUM, Gehan Shaker; SADAK, Mervat Shamoon; BADR, Elham Abd El Moneim. Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan.¹ **Bulletin of the National Research Centre**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 79, 27 dez. 2020.
- BALASUBRAMANIAM, Thuvaraki et al. Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. **Plants**, [s.l.], v. 12, n. 12, p. 2253, 8 jun. 2023.
- BALUSAMY, Sri Renukadevi et al. Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential tool to combat salinity stress in plants.² **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 284, p. 119189, maio 2022.

BAŞAK, Hakan et al. Salt Stress Effects On Hybrid Bottle Gourd (*Lagenaria siceraria*) Rootstock Candidates Plant Growth, Hormones and Nutrient Content. **Journal of Crop Health**, [s.l.], v. 77, n. 1, p. 28, 7 fev. 2025.

BASU, Sahana et al. Reassessing the role of ion homeostasis for improving salinity tolerance in crop plants. **Physiologia Plantarum**, [s.l.], v. 171, n. 4, p. 502–519, 5 abr. 2021.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. **Jaboticabal: FUNEP**, p. 41, 1988.

CAMARGO, Thais Ongaratto de et al. Morphological and phenological characterization of sunflower seeds. **Colloquium Agrariae**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 1–13, 15 jul. 2024.

CANAVAR, Öner et al. Physiological Responses of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Multiple Combined Prolonged Drought Stress, Salinity Stress and Boron Toxicity: Insights from Pre- and Post-Recovery Stages. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [s.l.], v. 211, n. 2, 19 mar. 2025.

CAO, Yangfan et al. Effects of exogenous chitosan concentrations on photosynthesis and functional physiological traits of hibiscus under salt stress. **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 419, 3 abr. 2025.

CÉCCOLI, Gabriel et al. Salinity tolerance determination in four sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids using yield parameters and principal components analysis model.³ **Annals of Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 67, n. 2, p. 211–219, dez. 2022.

CHOWDHURY, FM Tonmoy et al. Effects of sodium chloride salinity on growth and yield of BARI Sunflower-2 (*Helianthus annuus* L.). **Jahangirnagar University Journal of Biological Sciences**, [s.l.], v. 11, n. 1–2, p. 13–20, 2 abr. 2023.

CRISTYNE DA SILVEIRA SARMENTO, Dennise et al. Water quality from artesian wells in the northeastern semi-arid region: A literature review. **Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente (Rima)**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. e213, 5 jun. 2023.

DA SILVA FILHO, Pedro Martins et al. Nitroprusside—Expanding the Potential Use of an Old Drug Using Nanoparticles.⁴ **Molecular Pharmaceutics**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 6–22, 2 jan. 2023.

DALCHIAVON, Flávio Carlos et al. Agronomic Performance of Sunflower Hybrids in the Mid-Northern Region of Mato Grosso, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 12, n. 6, p. 182, 15 maio 2020.

DAWOOD, Mona Gergis; EL-AWADI, Mohamed El-sayed; SADAK, Mervat Shamoon. Chitosan and its Nanoform Regulates Physiological Processes and Antioxidant Mechanisms to Improve Drought Stress Tolerance of *Vicia faba* Plant.⁵ **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 5696–5709, 29 set. 2024.

DU, Yaqing et al. Drip irrigation in agricultural saline-alkali land controls soil salinity and improves crop yield: Evidence from a global meta-analysis. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 880, p. 163226, jul. 2023.

EL-ARABY, Abir et al. Chitosan, chitosan derivatives, and chitosan-based nanocomposites: eco-friendly materials for advanced applications (a review).⁶ **Frontiers in Chemistry**, [s.l.], v. 11, 4 jan. 2024.

EL-RAMADY, Hassan et al. Review of Crop Response to Soil Salinity Stress: Possible Approaches from Leaching to Nano-Management. **Soil Systems**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 11, 15 jan. 2024.

ELKARMOUT, Ahmed F.; YANG, Mei; HASSAN, Fahmy A. S. Chitosan Treatment Effectively Alleviates the Adverse Effects of Salinity in *Moringa oleifera* Lam via Enhancing Antioxidant System and Nutrient Homeostasis.⁷ **Agronomy**, [s.l.], v. 12, n. 10, p. 2513, 14 out. 2022.

FAROUK, Saad; AL-HUQAIL, Arwa Abdulkreem. Sustainable Biochar and/or Melatonin Improve Salinity Tolerance in Borage Plants by Modulating Osmotic Adjustment, Antioxidants, and Ion Homeostasis.⁸ **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 6, p. 765, 13 mar. 2022.

FAS – USDA. **Production, Commodity 2224000**. [S.l.]: FAS – USDA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2224000>. Acesso em: 15 out. 2025.

FERREIRA, Adriana dos S. et al. Pyroligneous solution as a salt stress attenuator in BRS 323 sunflower.⁹ **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 37, 2024.

FRANCO-LUESMA, Samuel; CAVERO, José; ÁLVARO-FUENTES, Jorge. Relevance of the irrigation and soil management system to optimize maize crop production under semiarid Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 307, p. 109272, fev. 2025.

FREITAS, Gustavo Quereza de et al. Crescimento e desenvolvimento do girassol irrigado e adubado com organomineral. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 8, p. e475985627, 18 jul. 2020.

GASHI, Njomza et al. Gypsum and Tillage Practices for Combating Soil Salinity and Enhancing Crop Productivity. **Agriculture**, [s.l.], v. 15, n. 6, p. 658, 20 mar. 2025.

GENG, Wan et al. Chitosan regulates metabolic balance, polyamine accumulation, and Na⁺ transport contributing to salt tolerance in creeping bentgrass.¹⁰ **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 506, 4 dez. 2020.

GIANNINI, Vittoria et al. Sunflower: From Cortuso's Description (1585) to Current Agronomy, Uses and Perspectives. **Agriculture**, [s.l.], v. 12, n. 12, p. 1978, 22 nov. 2022.

GOMES, Diego G. et al. Soil Treatment with Nitric Oxide-Releasing Chitosan Nanoparticles Protects the Root System and Promotes the Growth of Soybean Plants under Copper Stress.¹¹ **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 23, p. 3245, 26 nov. 2022.

GONÇALVES, Karoline Santos et al. Growth and production of ornamental sunflower irrigated with dilutions of treated domestic sewage. **Bioscience Journal**, [s.l.], v. 36, n. 5, p. 1535–1543, 13 ago. 2020.

GUIMARÃES, Rafaela F. B. et al. Growth and physiology of ornamental sunflower under salinity in function of paclobutrazol application methods. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 25, n. 12, p. 853–861, dez. 2021.

HAN, Xiaoyu et al. Effect of salinity on oleic sunflower (*Helianthus annuus* Linn.) under drip irrigation in arid area of Northwest China. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 259, p. 107267, jan. 2022.

HASANUZZAMAN, Mirza et al. Nitric Oxide Regulates Plant Growth, Physiology, Antioxidant Defense, and Ion Homeostasis to Confer Salt Tolerance in the Mangrove Species, *Kandelia obovata*. **Antioxidants**, [s.l.], v. 10, n. 4, p. 611, 16 abr. 2021.

HASSAN, Muhammad Umair et al. Editorial: Enhancing salinity tolerance in crop plants through agronomic, genetic, molecular, and physiological approaches. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 16, 11 mar. 2025.

HEMMAMI, Hadia et al. Chitosan, Its Derivatives, Sources, Preparation Methods, and Applications: A Review. **Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 341–364, 4 fev. 2024.

HUALPA-RAMIREZ, Efrain et al. Stress salinity in plants: New strategies to cope with in the foreseeable scenario. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 208, p. 108507, mar. 2024.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Boletim 100**: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: IAC, 2022. 489 p.

ISHFAQ AHMED et al. Heterosis and Combining Ability Analysis in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Using Line × Tester Mating Design for Yield and Oil Improvement.¹³ **Indus Journal of Bioscience Research**, [s.l.], v. 3, n. 3, p. 314–320, 31 mar. 2025.

JABEEN, Zahra et al. Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress.¹⁴ **PloS One**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. e0249500, 1 abr. 2021.

JAIN, Prachi; BHATLA, Satish C. Tyrosine nitration of cytosolic peroxidase is probably triggered as a long distance signaling response in sunflower seedling cotyledons subjected to salt stress. **PLoS One**, [s.l.], v. 13, n. 5, p. e0197132, 16 maio 2018.

JOCKOVIĆ, Milan et al. Genetic Improvement in Sunflower Breeding—Integrated Omics Approach. **Plants**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 1150, 4 jun. 2021.

KAYA, Cengiz; UĞURLAR, Ferhat; SETH, Chandra Shekhar. Sodium nitroprusside modulates oxidative and nitrosative processes in *Lycopersicum esculentum* L. under drought stress.¹⁵ **Plant Cell Reports**, [s.l.], v. 43, n. 6, p. 152, 28 jun. 2024.

KHAN, Murtaza et al. Nitric Oxide Acts as a Key Signaling Molecule in Plant Development under Stressful Conditions.¹⁶ **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 24, n. 5, p. 4782, 1 mar. 2023.

KOPECKÁ, Romana et al. Abiotic Stress in Crop Production. **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 24, n. 7, p. 6603, 1 abr. 2023.

KUMARI, Archana; BHATLA, Satish C. Nitric oxide modulates the expression of aquaporin isoforms (PIP2 and TIP1) on oil body membranes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedling cotyledons in response to salt stress.¹⁷ **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 651–656, 31 set. 2023.

LI, Chengcheng et al. A review of the distribution, sources, genesis, and environmental concerns of salinity in groundwater. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 27, n. 33, p. 41157–41174, 19 nov. 2020.

LIU, Peng et al. Comparative Transcriptome Analysis of Gene Responses of Salt-Tolerant and Salt-Sensitive Watermelon Cultivars' Roots to Salt Stress. **Plants**, [s.l.], v. 14, n. 7, p. 1013, 24 mar. 2025.

MAHMOOD, Athar et al. Bio-diesel production of sunflower through sulphur management in a semi-arid subtropical environment. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 29, n. 9, p. 13268–13278, 28 fev. 2022.

MANZOOR, Natasha et al. Recent Advancements and Development in Nano-Enabled Agriculture for Improving Abiotic Stress Tolerance in Plants. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 13, 11 jul. 2022.

MASLENNIKOVA, D. R.; LASTOCHKINA, O. V.; SHAKIROVA, F. M. Exogenous Sodium Nitroprusside Improves Salt Stress Tolerance of Wheat (*Triticum aestivum* L.) via Regulating the Components of Ascorbate-Glutathione Cycle, Chlorophyll Content and Stabilization of Cell Membranes State.¹⁸ **Russian Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 69, n. 6, p. 1098–1108, 1 dez. 2022.

MEHMOOD, Sajid et al. Chitosan Modified Biochar Increases Soybean (*Glycine max* L.) Resistance to Salt-Stress by Augmenting Root Morphology, Antioxidant Defense Mechanisms and the Expression of Stress-Responsive Genes.¹⁹ **Plants**, [s.l.], v. 9, n. 9, p. 1173, 10 set. 2020.

METHELA, Nusrat Jahan et al. Chitosan-GSNO nanoparticles: a positive modulator of drought stress tolerance in soybean.²⁰ **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 639, 11 dez. 2023.

MICELI, Alessandro; MONCADA, Alessandra; VETRANO, Filippo. Use of Microbial Biostimulants to Increase the Salinity Tolerance of Vegetable Transplants. **Agronomy**, [s.l.], v. 11, n. 6, p. 1143, 3 jun. 2021.

MOENNE, A.; GONZÁLEZ, A. Chitosan-, alginate- carrageenan-derived oligosaccharides stimulate defense against biotic and abiotic stresses, and growth in plants: A historical perspective.²¹ **Carbohydrate Research**, [s.l.], v. 503, p. 108298, maio 2021.

MULAUDZI, Takalani et al. Antioxidant Capacity of Chitosan on Sorghum Plants under Salinity Stress. **Agriculture**, [s.l.], v. 12, n. 10, p. 1544, 25 set. 2022.

NAVARRO-TORRE, Salvadora et al. Sustainable agricultural management of saline soils in arid and semi-arid Mediterranean regions through halophytes, microbial and soil-based technologies. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 212, p. 105397, ago. 2023.

NAWAZ et al. Impact of Salt Stress on Cotton. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 98–103, 2023.

NETO, Osmar et al. Performance evaluation of a reverse osmosis membrane desalination equipment for application in rural communities in the Brazilian semi-arid region. **Water Practice & Technology**, [s.l.], v. 20, n. 3, p. 518–526, 1 mar. 2025.

ONDRASEK, Gabrijel et al. Salt Stress in Plants and Mitigation Approaches. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 6, p. 717, 8 mar. 2022.

ONDRASEK, Gabrijel; RENGEL, Zed. Environmental salinization processes: Detection, implications & solutions. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 754, p. 142432, fev. 2021.

PESSOA, Luiz G. M. et al. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 141, p. 109139, ago. 2022.

PETRARU, Ancuța; URSACHI, Florin; AMARIEI, Sonia. Nutritional Characteristics Assessment of Sunflower Seeds, Oil and Cake. Perspective of Using Sunflower Oilcakes as a Functional Ingredient. **Plants**, [s.l.], v. 10, n. 11, p. 2487, 17 nov. 2021.

PRAJAPATI, Priyanka et al. Nitric oxide mediated regulation of ascorbate-glutathione pathway alleviates mitotic aberrations and DNA damage in *Allium cepa* L. under salinity stress.²² **International Journal of Phytoremediation**, [s.l.], v. 25, n. 4, p. 403–414, 21 mar. 2023.

PURAIKALAN, Yamunadevi; SCOTT, Michelle. Sunflower Seeds (*Helianthus Annuus*) and Health Benefits: A Review. **Recent Progress in Nutrition**, [s.l.], v. 03, n. 03, p. 1–5, 6 jul. 2023.

PUTTHA, Ratchanee et al. Exploring the Potential of Sunflowers: Agronomy, Applications, and Opportunities within Bio-Circular-Green Economy. **Horticulturae**, [s.l.], v. 9, n. 10, p. 1079, 27 set. 2023.

R CORE TEAM. **R**: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. Viena: Áustria, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

RAGAEY, Marwa M. et al. Role of Signaling Molecules Sodium Nitroprusside and Arginine in Alleviating Salt-Induced Oxidative Stress in Wheat. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 14, p. 1786, 6 jul. 2022.

RAJESTARY, Razieh; LANDI, Lucia; ROMANAZZI, Gianfranco. Chitosan and postharvest decay of fresh fruit: Meta-analysis of disease control and antimicrobial and eliciting activities. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 563–582, 23 jan. 2021.

RIKKALA, Manasa Reddy et al. Genetic variability in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **International Journal of Advanced Biochemistry Research**, [s.l.], v. 8, n. 1S, p. 10–12, 1 jan. 2024.

RISEH, Roohallah Saberi et al. Chitosan as a potential natural compound to manage plant diseases.²³ **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 220, p. 998–1009, nov. 2022.

ROY, Anamika; SINGH, Maninder. Exploring the Genetic Wealth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.): A Comprehensive Review on Its Products and By-Products. **Journal of Advances in Biology & Biotechnology**, [s.l.], v. 27, n. 6, p. 388–402, 15 maio 2024.

SEDLÁŘOVÁ, Michaela et al. Progress in Plant Nitric Oxide Studies: Implications for Phytopathology and Plant Protection. **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 26, n. 5, p. 2087, 27 fev. 2025.

SHAHBAZ, Muhammad et al. Mitigation of salinity stress in sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) through topical application of salicylic acid and silver nanoparticles.²⁴ **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 27–40, 30 jan. 2025.

SHAHID, Shabbir A.; ZAMAN, Mohammad; HENG, Lee. Soil Salinity: Historical Perspectives and a World Overview of the Problem. In: **Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 43–53.

SHAHRAJABIAN, Mohamad Hesam et al. Sustainable Agriculture Systems in Vegetable Production Using Chitin and Chitosan as Plant Biostimulants.²⁵ **Biomolecules**, [s.l.], v. 11, n. 6, p. 819, 31 maio 2021.

SHEN, Fengmin et al. Effect of Exogenous Chitosan on Physiological Characteristics, Photosynthetic Parameters, and Antioxidant Systems of Maize Seedlings Under Salt Stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l.], v. 24, n. 4, p. 7024–7041, 17 dez. 2024.

SINGH, Ajay. Soil salinization management for sustainable development: A review. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 277, p. 111383, jan. 2021.

SINGHAL, Rajesh Kumar et al. Roles of Nitric Oxide in Conferring Multiple Abiotic Stress Tolerance in Plants and Crosstalk with Other Plant Growth Regulators. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 40, n. 6, p. 2303–2328, 21 dez. 2021.

SONG, Huifang et al. Phylogenetic analysis and expression profiles of jasmonate ZIM-domain gene family provide insight into abiotic stress resistance in sunflower.²⁶ **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 13, 4 out. 2022.

SOOSTANI, Sarvenaz Bigham et al. Investigating the effect of chitosan on the expression of P5CS, PIP, and PAL genes in rapeseed (*Brassica napus* L.) under salt stress.²⁷ **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 215, 18 fev. 2025.

STEFANOV, Martin A. et al. Protective Effects of Sodium Nitroprusside on Photosynthetic Performance of *Sorghum bicolor* L. under Salt Stress. **Plants**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 832, 13 fev. 2023.

SUNDARARAJAN, Sathish et al. Exogenous supplementation with sodium nitroprusside, a nitric oxide donor, mitigates the effects of salinity in *Abelmoschus esculentus* L. seedlings.²⁸ **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, [s.l.], v. 63, n. 3, p. 341–351, 21 jun. 2022.

TRUȘCĂ, Mădălina et al. Exploring the Research Challenges and Perspectives in Ecophysiology of Plants Affected by Salinity Stress. **Agriculture**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 734, 22 mar. 2023.

ULLAH, Fazal et al. The multifaceted role of sodium nitroprusside in plants: crosstalk with phytohormones under normal and stressful conditions.²⁹ **Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 103, n. 3, p. 453–470, 6 jul. 2024.

VO, Thi Sinh et al. A comprehensive review of chitosan-based functional materials: From history to specific applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 281, p. 136243, nov. 2024.

WANG, Anbang et al. Mechanisms of Chitosan Nanoparticles in the Regulation of Cold Stress Resistance in Banana Plants. **Nanomaterials**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 2670, 11 out. 2021.

YANG, Haichang et al. Assessing the impact of shallow subsurface pipe drainage on soil salinity and crop yield in arid zone. **PeerJ**, [s.l.], v. 9, p. e12622, 14 dez. 2021.

YASIR, Tauqeer Ahmad et al. Exogenous Sodium Nitroprusside Mitigates Salt Stress in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) by Affecting the Growth, Yield, and Biochemical Properties.³⁰ **Molecules**, [s.l.], v. 26, n. 9, p. 2576, 28 abr. 2021.

YU, Bo; CHAO, Dai-Yin; ZHAO, Yang. How plants sense and respond to osmotic stress. **Journal of Integrative Plant Biology**, [s.l.], v. 66, n. 3, p. 394–423, 8 mar. 2024.

ZANGANI, Esmaeil et al. Alleviating the Injuries of NaCl Exposure on Respiratory Activities, Leaf Stomatal and Antioxidant Defense of *Silybum marianum* L. Seedlings by Exogenous Nitric Oxide. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 42, n. 12, p. 7731–7748, 16 dez. 2023.

ZHANG, Chun et al. Genome-wide identification and evolution of the SAP gene family in sunflower (*Helianthus annuus* L.) and expression analysis under salt and drought stress.³¹ **PeerJ**, [s.l.], v. 12, p. e17808, 30 jul. 2024a.

ZHANG, Chun et al. Pan-genome wide identification and analysis of the SAMS gene family in sunflowers (*Helianthus annuus* L.) revealed their intraspecies diversity and potential roles in abiotic stress tolerance.³² **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 15, 13 nov. 2024b.

ZHANG, Kangping et al. Genome-wide identification of the TIFY gene family in *Helianthus annuus* and expression analysis in response to drought and salt stresses.³³ **Scientific Reports**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 15138, 30 abr. 2025.

ZHANG, Yuting et al. Natural-human driving factors of groundwater salinization in a long-term irrigation area.³⁴ **Environmental Research**, [s.l.], v. 220, p. 115178, mar. 2023.

ZHOU, Xianrong et al. Nitric oxide, crosstalk with stress regulators and plant abiotic stress tolerance. **Plant Cell Reports**, [s.l.], v. 40, n. 8, p. 1395–1414, 11 ago. 2021.