

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

ANELISE VIEIRA ROSA FERNANDES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL COMERCIAL COMO
BIOESTIMULANTE EM GIRASSOL ANÃO SOB ESTRESSE SALINO**

ALFENAS/MG

2026

ANELISE VIEIRA ROSA FERNANDES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL COMERCIAL COMO
BIOESTIMULANTE EM GIRASSOL ANÃO SOB ESTRESSE SALINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Licenciado em Ciências Biológicas,
pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr.Sandro Barbosa
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Erika dos Santos
Silva

ALFENAS/MG

2026

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Rosa, Anelise Vieira.

Avaliação De Fertilizante Organomineral Comercial Como
Bioestimulante Em Girassol Anão Sob Estresse Salino / Anelise Vieira Rosa.
- Alfenas, MG, 2026.

37 f. : il. -

Orientador(a): Sandro Barbosa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) -
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2026.

Bibliografia.

1. Helianthus annuus. 2. Estresse abiótico. 3. Ornamental.. I. Barbosa,
Sandro, orient. II. Título.

ANELISE VIEIRA ROSA FERNANDES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL COMERCIAL COMO
BIOESTIMULANTE EM GIRASSOL ANÃO SOB ESTRESSE SALINO**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 03 de julho de 2026

Prof. Dr. Sandro Barbosa
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:  Documento assinado digitalmente
SANDRO BARBOSA
Data: 06/07/2026 09:25:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. ^a Dr. ^a Michele Valquíria dos Reis
Universidade Federal de Lavras

Assinatura:

Prof. Dr. João Vitor Calvelli Barbosa
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por tornar possível a realização deste sonho de cursar uma universidade de excelente qualidade, e por sempre colocar em meu caminho pessoas fundamentais para a minha formação profissional e pessoal.

Aos meus familiares, expresso minha gratidão pelo apoio incondicional. Em especial ao meu pai, por ser o meu porto seguro e a pessoa que sempre depositou a maior confiança em mim e nos meus objetivos. Ao meu orientador e à minha coorientadora, agradeço pelos ensinamentos e pela condução desta jornada. Estendo este agradecimento a toda a equipe do laboratório BIOGEN, que me acolheu e auxiliou em diversos momentos da minha vida acadêmica e pessoal, tornando-se uma segunda família pra mim.

Por fim, agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de duas bolsas de iniciação científica ao longo da minha graduação. Esse incentivo financeiro e acadêmico permitiu que eu me dedicasse integralmente aos estudos e ao desenvolvimento de pesquisas, transformando-me na profissional que sou hoje.

RESUMO

O girassol (*Helianthus annuus*) destaca-se como uma cultura de grande importância no cenário agrícola global, apresentando uma demanda crescente no setor florístico e paisagístico. Genótipos de porte reduzido têm sido cada vez mais requisitados para a composição de vasos, jardins e áreas verdes. Apesar de ser descrita como uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, o excesso de sais na zona radicular representa um estresse abiótico crítico que pode comprometer severamente o estabelecimento inicial e o vigor das plântulas. Frente a esse obstáculo produtivo, o uso de tecnologias sustentáveis, como a aplicação de bioestimulantes vegetais, surge como uma alternativa promissora para atenuar os efeitos deletérios da salinização e garantir a viabilidade comercial da cultura. Mediante essas perspectivas, o presente estudo teve como objetivo analisar o potencial atenuador de estresse salino de um fertilizante organomineral comercial em plantas de girassol anão (cultivar F1 Sunny Smile) submetidas a cinco níveis de salinidade: 0, 2, 4, 8 e 16 dS m⁻¹ associados à ausência ou presença do bioestimulante, administrado via solo na dose de 20 µL L⁻¹, havendo seis repetições. Foram realizadas análises do estresse oxidativo (teores de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica), assim como a análise das atividades enzimáticas do sistema antioxidante de defesa (SOD, APX, CAT). A eficiência fotoquímica do fotossistema II foi monitorada através dos parâmetros de fluorescência da clorofila a (Fv/FM_Lss, qP_Lss, NPQ_Lss e Rfd_Lss), enquanto a qualidade visual das flores liguladas, foram avaliadas os parâmetros (L*, a*, b*) por análise colorimétrica instrumental utilizando o sistema CIELAB. Os resultados indicaram que a salinidade induziu estresse oxidativo, evidenciado pelo aumento progressivo nos teores de H₂O₂. Contudo, observou-se concomitante, à elevação na atividade enzimática da SOD e da APX, cuja ação sinérgica auxiliou na eliminação de causadores de estresse oxidativo nas plantas, impedindo a ocorrência de danos severos por peroxidação lipídica nas membranas celulares. A aplicação do bioestimulante atuou de forma ampla na regulação do aparato fotossintético mesmo sob os níveis mais elevados de salinidade; embora não tenha exercido efeito sobre a eficiência quântica máxima (Fv/Fm_Lss), o composto otimizou o fluxo de elétrons (qP_Lss), os mecanismos de dissipação térmica (NPQ_Lss) e o índice de vitalidade da planta (Rfd_Lss), garantindo a integridade da maquinaria fotoquímica. As variáveis colorimétricas das flores liguladas não sofreram alterações estatisticamente significativas. Conclui-se que, o bioestimulante comercial analisado apresenta potencial para o uso no manejo do girassol anão na concentração de 20 µL L⁻¹ via solo, mostrando-se uma possível alternativa viável para mitigar o estresse salino. O composto otimizou o sistema antioxidante enzimático (via SOD e

APX) e resguardou a integridade da maquinaria fotossintética. Por fim, constatou-se que o girassol anão expressa tolerância à salinidade imposta, evidenciando que o processo de melhoramento genético direcionado à redução do porte preservou os mecanismos característicos das cultivares convencionais.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*; estresse abiótico; ornamental.

ABSTRACT

The sunflower (*Helianthus annuus*) stands out as a crop of great importance in the global agricultural scenario, presenting a growing demand in the floristic and landscaping sector. Small-sized genotypes have been increasingly requested for the composition of pots, gardens, and green areas. Despite being described as a moderately salinity-tolerant species, excess salts in the root zone represent a critical abiotic stress that can severely compromise the initial establishment and vigor of seedlings. Faced with this production obstacle, the use of sustainable technologies, such as the application of plant biostimulants, emerges as a promising alternative to attenuate the deleterious effects of salinization and guarantee the commercial viability of the crop. Given these perspectives, the present study aimed to analyze the saline stress-attenuating potential of a commercial organomineral fertilizer in dwarf sunflower plants (cultivar F1 Sunny Smile) subjected to five salinity levels: 0, 2, 4, 8, and 16 dS m⁻¹ associated with the absence or presence of the biostimulant, administered via soil at a dose of 20 $\mu\text{L L}^{-1}$, with six replications. Analyses of oxidative stress (hydrogen peroxide levels and lipid peroxidation) were performed, as well as the analysis of the enzymatic activities of the antioxidant defense system (SOD, APX, CAT). The photochemical efficiency of photosystem II was monitored through chlorophyll a fluorescence parameters (F_v/F_m_{Lss} , qP_{Lss} , NPQ_{Lss} , and Rfd_{Lss}), while for the visual quality of ray florets, the parameters (L^* , a^* , b^*) were evaluated by instrumental colorimetric analysis using the CIELAB system. The results indicated that salinity induced oxidative stress, evidenced by the progressive increase in H_2O_2 levels. However, a concomitant increase in the enzymatic activity of SOD and APX was observed, whose synergistic action helped eliminate oxidative stress causers in plants, preventing the occurrence of severe damage by lipid peroxidation in cell membranes. The application of the biostimulant acted broadly in regulating the photosynthetic apparatus even under the highest salinity levels; although it exerted no effect on the maximum quantum efficiency (F_v/F_m_{Lss}), the compound optimized electron flow (qP_{Lss}), thermal dissipation mechanisms (NPQ_{Lss}), and the plant vitality index (Rfd_{Lss}), guaranteeing the integrity of the photochemical machinery. The colorimetric variables of ray florets did not undergo statistically significant changes. It is concluded that the commercial biostimulant analyzed presents potential for use in the management of dwarf sunflower at a concentration of 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ via soil, proving to be a possible viable alternative to mitigate salt stress. The compound optimized the enzymatic antioxidant system (via SOD and APX) and protected the integrity

of the photochemical machinery. Finally, it was found that the dwarf sunflower expresses tolerance to the imposed salinity, showing that the genetic improvement process aimed at reducing size preserved the characteristic mechanisms of conventional cultivars.

Keywords: *Helianthus annuus*; abiotic stress; ornamental.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2 USO DE BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA PARA O CULTIVO ORNAMENTAL DE GIRASSOL ANÃO SOB ESTRESSE SALINO.....	12
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS.....	34
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO GERAL

Pertencente à família Asteraceae, o girassol (*Helianthus annuus*) destaca-se atualmente como a terceira oleaginosa mais produzida no mundo, tendo sua relevância global associada ao caráter multifuncional da cultura, que atende a diferentes setores, incluindo a indústria alimentícia, a produção de biocombustíveis, a nutrição animal e o mercado ornamental (Curti et al., 2022; Pilorgé, 2020).

O mercado de plantas ornamentais envolvendo o girassol tem ganhado crescente destaque, uma vez que sua inflorescência, popularmente denominada flor, apresenta características estéticas atrativas para esse segmento (Medeiros; Luz, 2021). O elevado valor ornamental e o potencial de rentabilidade dessa cultura têm despertado o interesse de produtores e empreendedores em busca de novas oportunidades de negócio (Tomasi et al., 2024). A cadeia produtiva do girassol ornamental apresenta potencial para contribuir com os princípios estabelecidos pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 8 (ODS 8), em especial a meta 8.3, que preconiza o incentivo ao empreendedorismo como forma de promover o crescimento econômico (ONU, 2015).

Embora o girassol apresente uma elevada importância econômica e ornamental, a produção dessa cultura é limitada por diversos fatores relacionados ao solo, entre os quais a salinidade se destaca como um dos mais preocupantes (El-Ramady *et al.*, 2024). Segundo Hao et al. (2021), a expansão desse problema em escala global compromete a produtividade agrícola e reduz a disponibilidade de áreas cultiváveis, representando um desafio crescente para diferentes sistemas de produção vegetal, incluindo culturas de interesse ornamental.

Shokri, Hassani e Sahimi (2024) definem em seu trabalho que os solos afetados pelo acúmulo de sais podem ser classificados em salinos, sódicos ou sódico-salinos. A salinidade é geralmente expressa por meio da condutividade elétrica medida em deciSiemens por metro (dS m^{-1}) sendo os solos considerados salinos quando apresentam valores iguais ou superiores a 4 dS m^{-1} a 25°C . Os solos sódicos, por sua vez, é definido pela razão de adsorção de sódio (RAS), sendo classificados como sódicos quando apresentam valores superiores a $\text{RAS} > 13$ ($\text{mmol}^{\circ} \text{L}^{-1}$). Já os solos salino-sódicos apresentam simultaneamente elevada condutividade elétrica e altos valores de RAS, reunindo as características de ambos os tipos de solo (Mohanavelu; Naganna; Al-Ansari, 2021). Esse aumento da concentração salina no solo favorece a absorção excessiva de íons pelas plantas e seu subsequente acúmulo nos tecidos, o que pode desencadear efeitos tóxicos em nível celular se assimilados em excesso e transportados pela corrente transpiratória (Hao *et al.*, 2021). Entre os principais impactos gerados por essa condição do solo estão, o estresse osmótico e toxicidade iônica, no qual as

altas concentrações de sais no solo dificultam a absorção de água pelas raízes, redução da eficiência fotossintética, alterações na homeostase iônica e danos oxidativos às membranas celulares decorrentes da peroxidação lipídica, comprometendo o crescimento vegetal (Sowmya *et al.*, 2025).

A ocorrência e a intensificação da salinização do solo estão associadas a fatores de origem tanto antrópica quanto natural. Entre as causas antrópicas, destaca-se a irrigação inadequada, frequentemente associada ao uso excessivo de fertilizantes e à deficiência nos sistemas de drenagem, o que favorece o acúmulo de sais no solo. Já os fatores naturais incluem características como litologia, topografia, clima e pedologia como apontadas por Stavi, Thevs e Priori (2021).

Diante dos desafios impostos pela salinização e da crescente demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis, os bioestimulantes têm ganhado destaque devido aos seus efeitos benéficos sobre diversas culturas, especialmente pela capacidade de mitigar os danos causados por estresses abióticos (Mandal *et al.*, 2023). Ao discutirem as diferentes definições atribuídas a esses produtos, Baltazar *et al.* (2021), com base em Yakhin *et al.* (2017), descrevem os bioestimulantes como substâncias e/ou misturas de origem biológica capazes de promover o aumento da produtividade das plantas, elevar a eficiência nutricional e conferir maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. Os autores ressaltam ainda que a classificação dos bioestimulantes pode variar entre os estudos, sendo frequentemente estabelecida de acordo com sua origem ou com seu mecanismo de ação.

Os bioestimulantes derivados de extratos de algas marinhas têm se destacado como alternativas sustentáveis para a agricultura devido à sua baixa pegada de carbono e à presença de macro e micronutrientes, reguladores de crescimento e diversos compostos bioativos, capazes de favorecer o crescimento, o metabolismo e os mecanismos de tolerância das plantas sob condições de estresse (Gandhi *et al.*, 2024). As macroalgas destacam-se como importantes fontes de bioestimulantes, cujos extratos têm sido associados à promoção do crescimento vegetal, ao desenvolvimento do sistema radicular, ao aumento da eficiência fotossintética, à modulação do metabolismo antioxidante e à melhoria da absorção de nutrientes em diversas culturas (Nunes *et al.*, 2024).

A escassez de informações acerca do uso de bioestimulante de alga marinha em cultivo de girassol anão submetidos ao estresse salino evidencia a necessidade de estudos voltados à elucidação de seus efeitos sobre essa cultura. Considerando a importância econômica e ornamental de *Helianthus annuus*, bem como o potencial bioestimulante atribuído aos extratos de alga, a investigação dessa interação pode contribuir para o

desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis para mitigar os efeitos da salinidade. O presente estudo teve por objetivo avaliar o potencial de um bioestimulante comercial à base de nitrato de magnésio e extrato de alga marinha na mitigação dos efeitos do estresse salino em sementes de girassol anão.

2 USO DE BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA PARA O CULTIVO ORNAMENTAL DE GIRASSOL ANÃO SOB ESTRESSE SALINO

Abstract

Sunflower (*Helianthus annuus*) has gained increasing importance in floriculture and landscaping, driving the demand for compact ornamental cultivars. However, despite its moderate tolerance, salt stress may compromise plant establishment. In this context, the objective of this study was to evaluate the efficiency of a commercial organomineral fertilizer in mitigating the effects of salinity in dwarf sunflower (F1 Sunny Smile cultivar). The experiment was conducted in a completely randomized design, with five irrigation water salinity levels (0, 2, 4, 8, and 16 dS m⁻¹), in the absence or presence of the biostimulant applied via soil (20 µL L⁻¹), with six replicates. Indicators of oxidative stress (H₂O₂ and lipid peroxidation), antioxidant enzyme activity (SOD, APX, and CAT), chlorophyll *a* fluorescence parameters (Fv/Fm_Lss, qP_Lss, NPQ_Lss, and Rfd_Lss), and flower colorimetric attributes using the CIELAB system (L*, a*, and b*) were evaluated. Increasing salinity raised H₂O₂ levels, but the activation of SOD and APX prevented severe damage caused by lipid peroxidation. The biostimulant did not affect Fv/Fm_Lss; however, it improved qP_Lss, NPQ_Lss, and Rfd_Lss, indicating greater protection of the photosynthetic apparatus under high salinity. The colorimetric parameters of the flowers did not show significant differences. It was concluded that soil application of the biostimulant (20 µL L⁻¹) enhances the antioxidant system and preserves the photochemical performance of dwarf sunflower under salt stress, maintaining its salinity tolerance.

Keywords: *Helianthus annuus*, abiotic stress, landscaping.

USO DE BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA PARA O CULTIVO ORNAMENTAL DE GIRASSOL ANÃO SOB ESTRESSE SALINO

Resumo

O girassol (*Helianthus annuus*) apresenta crescente importância na floricultura e no paisagismo, impulsionando a demanda por cultivares ornamentais de porte reduzido.

Entretanto, apesar de sua moderada tolerância, o estresse salino pode comprometer o estabelecimento das plantas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a eficiência de um fertilizante organomineral comercial na mitigação dos efeitos da salinidade em girassol anão (cultivar F1 Sunny Smile). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0, 2, 4, 8 e 16 dS m⁻¹), na ausência ou presença do bioestimulante aplicado via solo (20 µL L⁻¹), com seis repetições. Foram avaliados indicadores de estresse oxidativo (H₂O₂ e peroxidação lipídica), atividade das enzimas antioxidantes (SOD, APX e CAT), parâmetros de fluorescência da clorofila *a* (Fv/Fm_Lss, qP_Lss, NPQ_Lss e Rfd_Lss) e atributos colorimétricos das flores pelo sistema CIELAB (L*, a* e b*). O aumento da salinidade elevou os teores de H₂O₂, mas a ativação de SOD e APX evitou danos severos por peroxidação lipídica. O bioestimulante não alterou Fv/Fm_Lss, porém favoreceu qP_Lss, NPQ_Lss e Rfd_Lss, indicando maior proteção do aparato fotossintético sob elevada salinidade. Os parâmetros colorimétricos das flores não apresentaram diferenças significativas. Conclui-se que a aplicação via solo do bioestimulante (20 µL L⁻¹) potencializa o sistema antioxidante e preserva o desempenho fotoquímico do girassol anão sob estresse salino, mantendo sua tolerância à salinidade.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*, estresse abiótico, paisagismo.

Introdução

A floricultura e a produção de plantas ornamentais representam um segmento agrícola de elevado valor agregado e intensivamente tecnificado, caracterizado pela utilização de práticas modernas de cultivo (Nascimento et al., 2016). O girassol (*Helianthus annuus* L.) tem se destacado no mercado ornamental em virtude da sua moderada tolerância a estresse abiótico, como o salino (LI et al., 2020) diversidade de cultivares, inflorescências de elevada importância ornamental e versatilidade de uso em diferentes composições paisagísticas, podendo ser empregado tanto em vasos quanto no plantio direto em jardins, canteiros e áreas verdes (Nascimento et al., 2016).

O porte elevado de muitas cultivares de girassol pode limitar sua utilização em determinados sistemas de produção ornamental, especialmente na comercialização como planta envasada, tornando necessário o controle do crescimento vegetal (Santos et al., 2025). Assim, cultivares de girassol anão vêm ganhando destaque por apresentarem porte compacto e elevada adaptabilidade ao cultivo em recipientes e no solo, favorecendo sua inserção em projetos paisagísticos e ampliando seu potencial ornamental e comercial (De Luna et al., 2025). Entre essas cultivares, destaca-se a F1 Sunny Smile, que apresenta altura entre 15 e 20

cm, característica que contribui para sua valorização no segmento de plantas ornamentais (Takii Seed, 2015).

Um dos desafios enfrentados no cultivo é a salinização do solo, frequentemente associada ao uso inadequado de fertilizantes agrícolas (Castro; Santos; Araújo, 2021). A salinidade é geralmente expressa por meio da condutividade elétrica, medida em deciSiemens por metro (dS m^{-1}), e segundo Mohanavelu, Naganna e Al-Ansari (2021), os solos salinos são caracterizados quando apresentam valores de condutividade elétrica iguais ou superiores a 4 dS m^{-1} , a 25°C . Esse processo pode desencadear uma série de efeitos prejudiciais às plantas, incluindo a formação excessiva de espécies reativas de oxigênio, comprometendo a fotossíntese, o crescimento celular e a absorção de água e nutrientes (Amaral et al., 2021).

Diante dos impactos causados pelo estresse salino sobre o crescimento e o desenvolvimento vegetal, torna-se necessária a adoção de estratégias capazes de minimizar seus efeitos e aumentar a tolerância das plantas a essas condições adversas. Os bioestimulantes têm sido amplamente utilizados na agricultura devido à sua capacidade de promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes e favorecendo o estabelecimento inicial das culturas (Nunes et al., 2024).

As tecnologias baseadas no uso de bioestimulantes têm se destacado como uma estratégia promissora para a mitigação de estresses abióticos no cultivo de plantas ornamentais, como *Petunia* spp., *Viola tricolor*, *Cosmos* spp. (Kisvarga et al., 2022), *Rosa hybrida* cv. Black Magic, *Pelargonium hortorum* e *Gerbera jamesonii*, entre outras espécies (Tütüncü et al., 2024).

Entre as diferentes fontes utilizadas na formulação de bioestimulantes, as macroalgas marinhas têm se destacado como uma alternativa promissora para aplicação na agricultura (Gandhi et al., 2024). Essas substâncias, segundo Rouphael e Colla (2020), são capazes de promover diversas respostas fisiológicas benéficas nas plantas, favorecendo o crescimento e aumentando a tolerância aos estresses abióticos. De acordo com İkiz et al. (2024), sua aplicação estimula mecanismos antioxidantes e o acúmulo de compostos osmoprotetores, contribuindo para a manutenção do metabolismo celular e para a redução dos danos causados pelo estresse salino.

Diante desse contexto, este trabalho justifica-se pela escassez de informações na literatura acerca do uso de bioestimulantes no cultivo de girassol anão (*Helianthus annuus*) da cultivar F1 Sunny Smile sob condições de salinidade do solo. Objetivou-se portanto, avaliar o potencial de um fertilizante organomineral com ação bioestimulante à base de nitrato de

magnésio e extrato de alga marinha, ainda sem recomendação para a cultura do girassol, na mitigação dos efeitos do estresse salino, por meio da análise das respostas fisiológicas e fenotípicas de plantas de *H. annuus* cv. F1 Sunny Smile cultivadas em solo salino.

Material e Métodos

Para a condução do experimento, foram utilizados 60 vasos de polietileno com volume de 230 cm³, preenchidos com substrato comercial Carolina Soil®. Antes da instalação do experimento, os vasos foram higienizados e submetidos à radiação ultravioleta (UV) por 30 minutos. O substrato foi autoclavado e, posteriormente, exposto à luz UV pelo mesmo período, visando garantir a assepsia do sistema experimental.

O volume de água correspondente à capacidade de campo do substrato em cada vaso foi determinado experimentalmente, sendo estabelecido em 43 mL por vaso. As sementes de girassol anão (*Helianthus annuus*; cultivar F1 Sunny Smile'; Takii Seed, safra 2022, lote 1Y/001-040) foram obtidas de forma comercial e semeadas individualmente centralizadas em cada vaso. Após a semeadura, realizou-se uma irrigação inicial equivalente a 100% da capacidade de campo (43ml). As irrigações de manutenção foram realizadas três vezes por semana, em dias alternados, utilizando 70% da capacidade de campo, correspondente a 30 mL de água por vaso. Na primeira semana após a emergência, foi realizada fertirrigação com meio nutritivo MS (Murashige; Skoog, 1962).

Nos tratamentos com bioestimulante, utilizou-se um produto comercial da marca Agrivalle (lote 0000002684), composto por nitrato de magnésio, extrato de alga marinha, resíduo orgânico agroindustrial classe A, farinha de peixe e aditivos (0,5% de dispersante/emulsificante/tensoativo/surfactante, 1,5% de estabilizante/conservante e água). O produto foi aplicado via solo, na concentração de 20 µL L⁻¹, conforme a recomendação do fabricante para culturas hortícolas. Foram realizadas duas aplicações do bioestimulante, sendo a primeira no estágio fenológico V1 e a segunda aplicação no estágio fenológico V4. Uma semana após a segunda aplicação, foi imposto o estresse salino por meio da irrigação com solução salina de condutividade elétrica de 0, 2, 4, 8 e 16 dS m⁻¹.

As plantas foram mantidas em sala de crescimento sob temperatura controlada de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

Análises bioquímicas e enzimáticas

Amostras de 0,2 g de flores liguladas foram maceradas em nitrogênio líquido acrescido de 20% de PVPP (m/v), homogeneizadas em 1,5 mL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1%

(m/v) e centrifugadas a 12.000 g por 15 minutos a 4 °C. O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi determinado medindo-se a absorbância a 390 nm em um meio de reação contendo tampão fosfato de potássio 100 mM com pH 7,0 e iodeto de potássio 1 M (Velikova et al., 2000). A peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico, conforme descrito por Buege e Aust (1978). Amostras de 0,2 g de flores liguladas foram maceradas em nitrogênio líquido acrescido de 20% de PVPP (m/v) e homogeneizadas em 1,5 mL TCA 0,1% (m/v). O homogeneizado foi centrifugado a 12.000 g, por 15 minutos a 4 °C. Aliquotas (250 μ L) do sobrenadante foram adicionadas ao meio de reação de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,5% (m/v) e 10% (m/v) de TCA, incubando-se, em seguida, a 95 °C por 30 minutos. A reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo e as leituras foram determinadas em espectrofotômetro, a 535 nm e 600 nm. Adicionalmente, foi avaliada a resposta do sistema antioxidante enzimático por meio da determinação das atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), visando identificar o acionamento dos mecanismos de defesa antioxidante da planta frente às condições de estresse. Amostras de 0,2 g de flores liguladas foram maceradas em nitrogênio líquido acrescido de 20% de PVPP (m/v) e homogeneizadas em tampão de extração, conforme descrito por Biemelt et al. (1998). O homogeneizado foi centrifugado e o sobrenadante obtido foi utilizado para as determinações enzimáticas. A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada conforme Giannopolitis e Ries (1977), por meio da inibição da fotorredução do nitro blue tetrazolium (NBT), sendo a absorbância monitorada em espectrofotômetro a 560 nm. A atividade da ascorbato peroxidase foi determinada de acordo com Nakano e Asada (1981), por meio do monitoramento da oxidação do ácido ascórbico na presença de peróxido de hidrogênio. A atividade foi quantificada espectrofotometricamente a 290 nm. A atividade da catalase foi determinada conforme Havir e McHale (1987), com base na decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo a diminuição da absorbância monitorada a 240 nm. Todas as análises foram realizadas por espectrofotometria, utilizando-se os comprimentos de onda específicos para cada ensaio.

Avaliação da eficiência fotoquímica

A eficiência fotoquímica foi avaliada por meio da análise de fluorescência da clorofila “a”, obtida por imagens utilizando um fluorímetro de imagens FluorCam. As medições foram realizadas após o aparecimento dos botões florais. Antes das análises, as plantas foram submetidas a um período de adaptação ao escuro de 30 minutos.

Foram analisados os parâmetros F_v/F_m_Lss , qP_Lss , NPQ_Lss e Rfd_Lss . Os dados foram posteriormente organizados e tabulados para análise estatística.

Avaliação morfológica e análise colorimétrica

O acompanhamento da morfologia floral foi realizado desde o aparecimento dos botões florais, com registros fotográficos efetuados em dias alternados. A partir dessas imagens, também foram conduzidas análises colorimétricas complementares por meio de parâmetros digitais de cor.

A análise colorimétrica foi conduzida com base no sistema CIELAB, utilizando o software Adobe Color para obtenção dos parâmetros L^* , a^* e b^* . O parâmetro L^* expressa a luminosidade da amostra, apresentando valores em uma escala de 0 a 100, em que 0 corresponde ao preto e 100 ao branco. O parâmetro a^* descreve a variação cromática no eixo verde-vermelho, sendo valores negativos indicativos de tonalidades verdes e valores positivos relacionados a tonalidades avermelhadas. O parâmetro b^* , por sua vez, representa o eixo azul-amarelo, no qual valores negativos correspondem a tons azulados e positivos a tons amarelados.

Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×5 , sendo o primeiro fator correspondente à ausência ou presença do bioestimulante e o segundo aos níveis de salinidade (0, 2, 4, 8 e 16 dS m^{-1}), com seis repetições por tratamento.

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificar a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias, respectivamente. Atendidos esses pressupostos, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) e, quando significativo, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Foi utilizado o software estatístico R (R Core Team, 2025).

Resultados

Resposta a presença de estresse oxidativo

A análise do peróxido de hidrogênio foi significativo em relação às concentrações de salinidade testadas. As concentrações de 0, 2, 4 e 8 dS m^{-1} não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si. Porém, a máxima concentração salina (16 dS m^{-1}) foi o

único tratamento a apresentar diferença significativa, promovendo o maior acúmulo de H_2O_2 , representado pela (Figura 1).

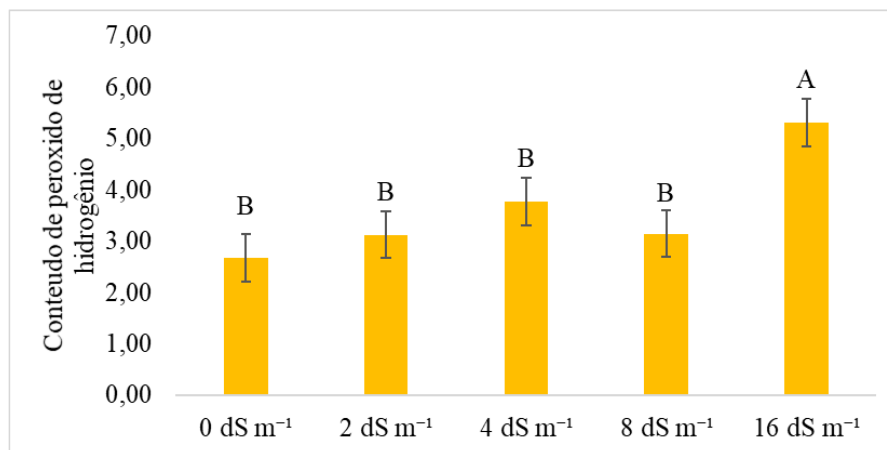


Figura 1: Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em *Helianthus annuus* submetidos a diferentes níveis de salinidade. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (Fonte: Dados da pesquisa.).

Os resultados da peroxidação lipídica não apresentaram diferenças significativas em relação a aplicação do bioestimulante, níveis de salinidade ou da interação entre esses fatores.

Enzimas do sistema antioxidante

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi influenciada pela interação entre os níveis de salinidade e a aplicação do bioestimulante. O desdobramento da interação evidenciou a formação de dois grupos distintos. As combinações correspondentes aos tratamentos 4 dS m⁻¹ e 16 dS m⁻¹ com bioestimulante, e 8 dS m⁻¹ sem bioestimulante apresentaram as maiores médias de atividade da SOD, não diferindo estatisticamente entre si. As demais combinações de salinidade e aplicação do bioestimulante constituíram um segundo grupo, caracterizado por menores valores da atividade enzimática.

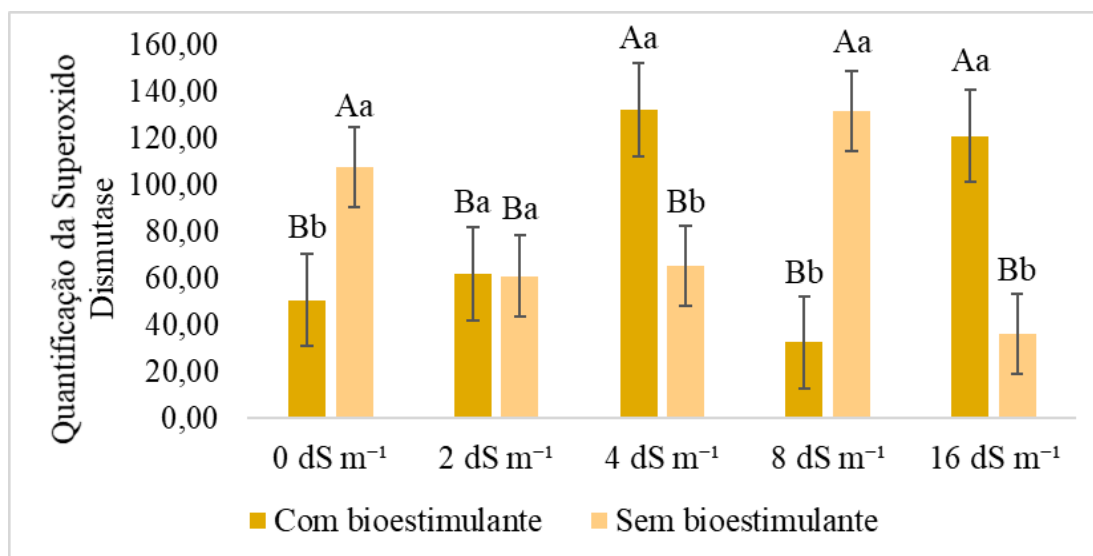


Figura 2: Atividade da superóxido dismutase (SOD) em *Helianthus annuus* submetidos a diferentes níveis de salinidade, na presença e na ausência de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os níveis de salinidade e letras minúsculas comparam a ausência e presença do bioestimulante (Fonte: Dados da pesquisa.).

Para a atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) apenas o fator salinidade foi significativo. Os tratamentos foram agrupados em dois conjuntos estatisticamente distintos. O primeiro grupo foi composto pelas concentrações salinas de 0 e 16 dS m⁻¹, enquanto o segundo reuniu as concentrações de 2, 4 e 8 dS m⁻¹ (figura 3).

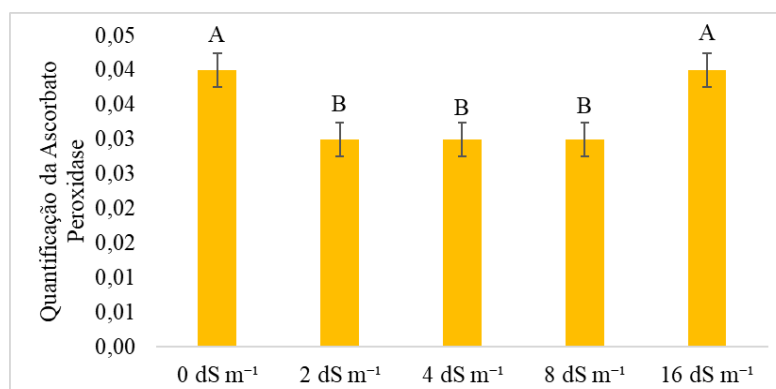


Figura 3: Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em *Helianthus annuus* submetidos a diferentes níveis de salinidade. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (Fonte: Dados da pesquisa.).

Não foram observadas diferenças significativas na atividade da catalase (CAT) em relação a salinidade, presença do bioestimulante ou da interação entre esses fatores.

Análise da fluorescência da clorofila “a”

Fv/Fm_Lss

Para esse parâmetro não foram observados efeitos significativos da salinidade, da aplicação do bioestimulante ou da interação entre esses fatores sobre a eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm_Lss).

qP_Lss

Os resultados do qP_Lss evidenciaram efeito significativo para a interação entre os fatores salinidade e presença de bioestimulante. Foram formados dois grupos estatisticamente distintos. O primeiro grupo foi composto pelos tratamentos 0, 8 e 16 dS m⁻¹ na ausência do bioestimulante, enquanto o segundo grupo foi constituído pelos tratamentos 0, 2, 4, 8 e 16 dS m⁻¹ na presença do bioestimulante e pelas concentrações de 2 e 4 dS m⁻¹ na ausência do bioestimulante.

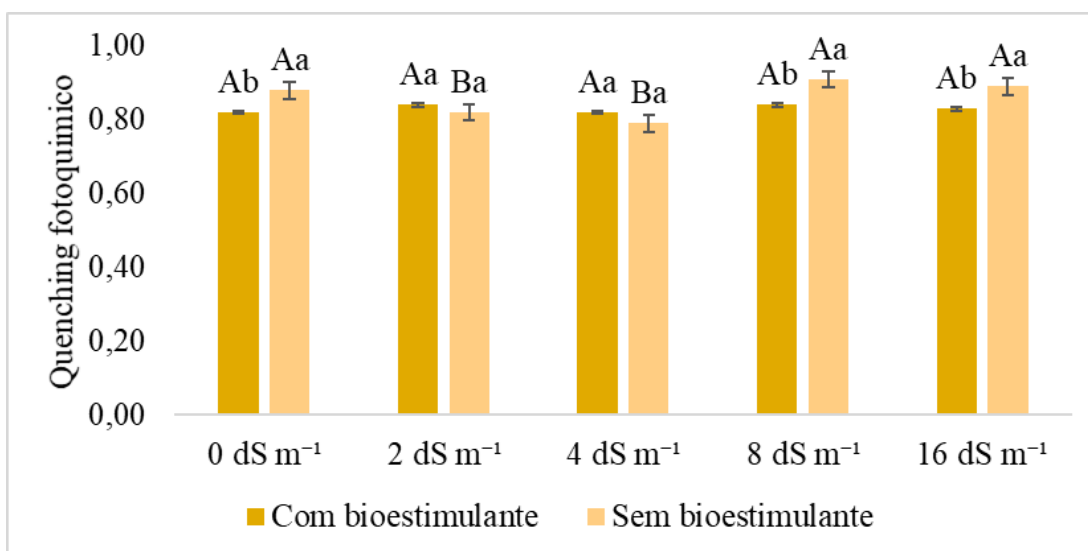


Figura 4: Quenching fotoquímico (qP) em *Helianthus annuus* submetidos a diferentes níveis de salinidade, na ausência e presença de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os níveis de salinidade e letras minúsculas comparam a ausência e a presença de bioestimulante (Fonte: Dados da pesquisa.).

NPQ_Lss

Na análise do parâmetro NPQ_Lss, observaram-se efeitos da interação entre a presença do bioestimulante e a concentração salina. Obteve-se a divisão de dois grupos estatísticos, sendo o primeiro composto pelos tratamentos 0, 2 e 4 dS m⁻¹ na ausência do bioestimulante e pelos tratamentos 0, 2, 4, 8 e 16 dS m⁻¹ na presença do bioestimulante. O segundo grupo foi constituído pelos tratamentos 8 e 16 dS m⁻¹ na ausência do bioestimulante, os quais apresentaram os menores valores de NPQ_Lss. Dessa forma, verificou-se redução do NPQ_Lss nas maiores concentrações salinas quando não houve aplicação do bioestimulante, enquanto na presença do bioestimulante os valores permaneceram estatisticamente semelhantes aos observados nos tratamentos submetidos às menores concentrações salinas.

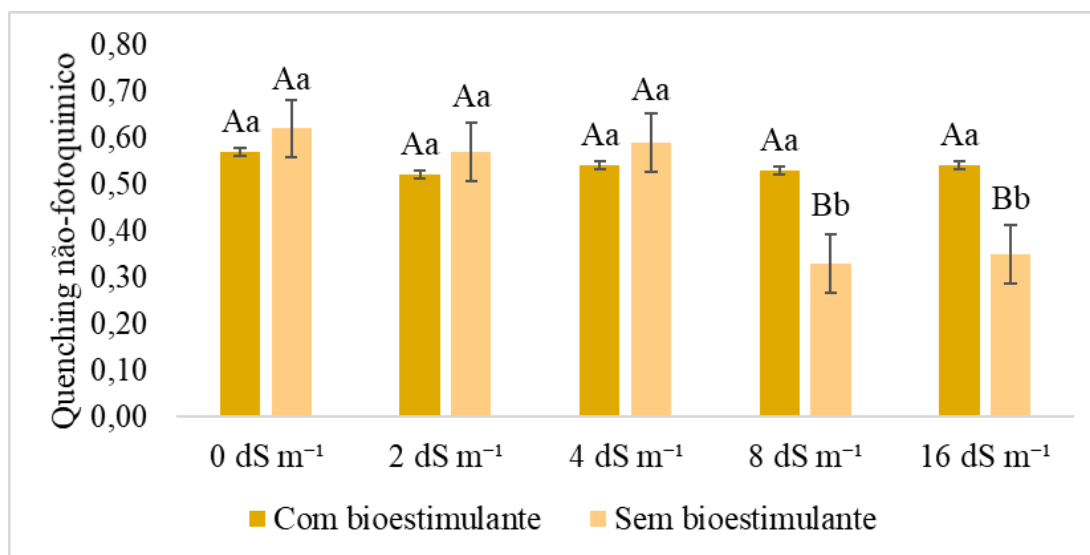


Figura 5: Quenching não fotoquímico (NPQ) em *Helianthus annuus* submetidos a diferentes níveis de salinidade, na ausência e presença de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os níveis de salinidade e letras minúsculas comparam a ausência e a presença de bioestimulante (Fonte: Dados da pesquisa.).

Rfd_Lss

Os resultados do Rfd_Lss evidenciaram efeito significativo da interação entre a presença do bioestimulante e a concentração salina. Obteve-se a divisão de dois grupos estatísticos, sendo o primeiro composto pelos tratamentos 0 dS m⁻¹ na ausência do bioestimulante e pelas concentrações de 0, 2, 4 e 16 dS m⁻¹ na presença do bioestimulante. O

segundo grupo foi constituído pelos tratamentos 2, 4, 8 e 16 dS m⁻¹ na ausência do bioestimulante e pelo tratamento 8 dS m⁻¹ na presença do bioestimulante. Verificou-se a manutenção de maiores valores de Rfd_Lss nas plantas tratadas com o bioestimulante, inclusive na concentração de 16 dS m⁻¹, enquanto menores valores foram observados predominantemente nos tratamentos sem a aplicação do extrato.

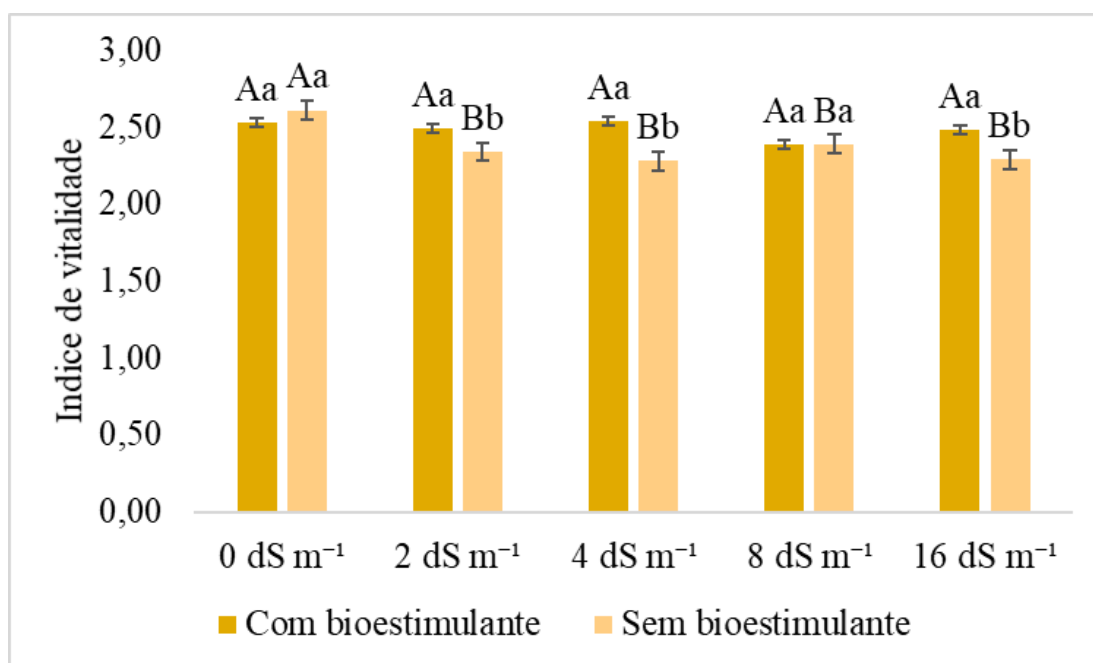


Figura 6: Índice de vitalidade (Rfd) em *Helianthus annuus* submetidos a diferentes níveis de salinidade, na ausência e presença de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os níveis de salinidade e letras minúsculas comparam a ausência e a presença de bioestimulante (Fonte: Dados da pesquisa.).

Colorimetria

Para a coordenada L*, verificou-se efeito significativo da presença/ausência de bioestimulante. As plantas cultivadas sem aplicação do bioestimulante apresentaram maior valor médio, diferindo estatisticamente das plantas tratadas com bioestimulante.

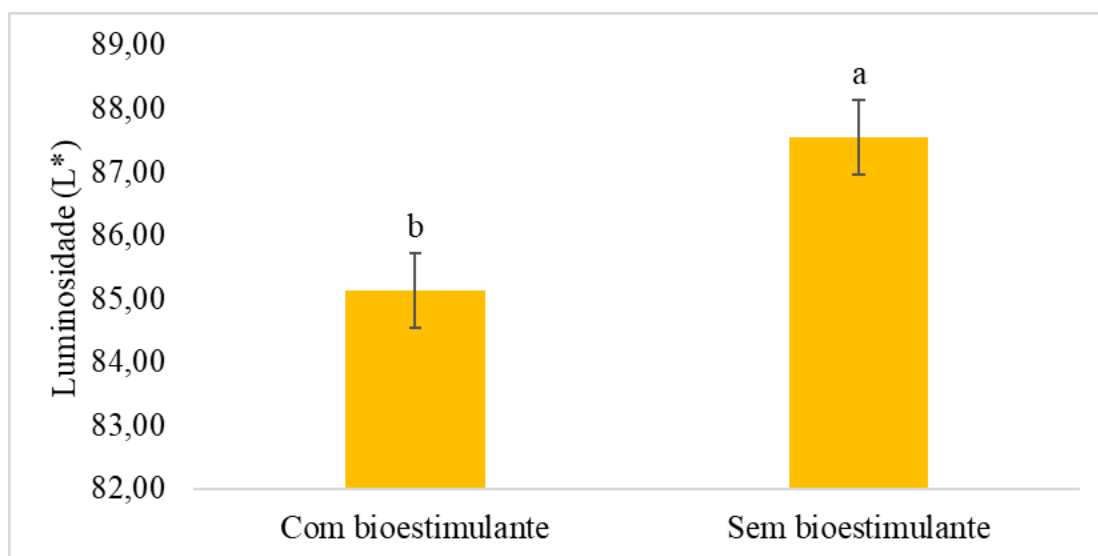


Figura 7: Luminosidade (L*) em *Helianthus annuus* submetidos à presença e ausência de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (Fonte: Dados da pesquisa.).

Na análise da coordenada a^* verificou-se efeito significativo da presença/ausência de bioestimulante. As plantas tratadas com bioestimulante apresentaram maior valor médio, diferindo estatisticamente das plantas cultivadas sem aplicação do bioestimulante.

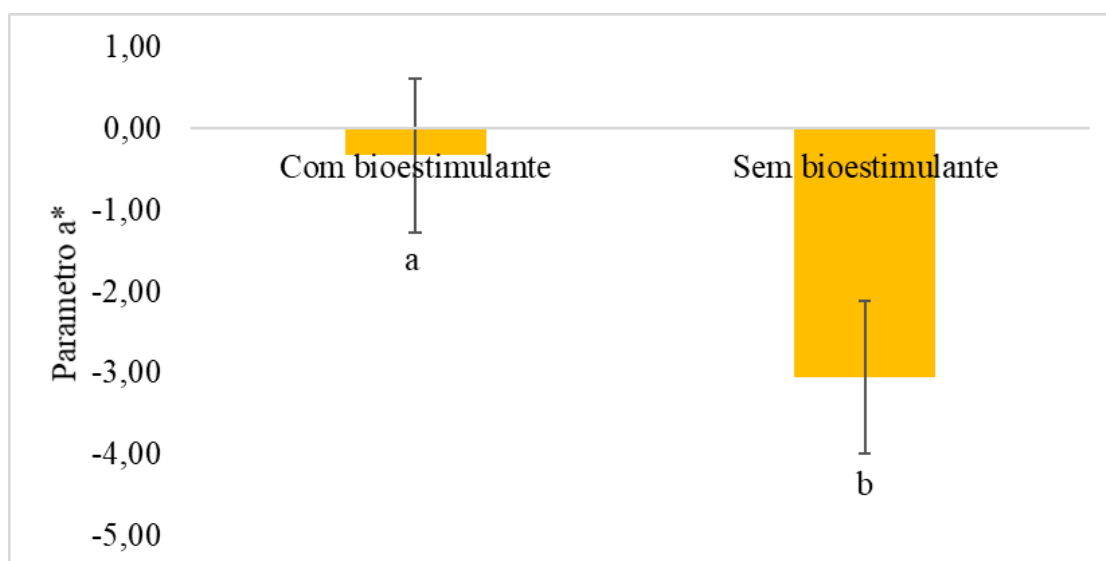


Figura 8: Parâmetro a^* em *Helianthus annuus* submetidos à presença e ausência de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Para a coordenada b^* , verificou-se efeito significativo da presença/ausência de bioestimulante. As plantas cultivadas sem aplicação do bioestimulante apresentaram maior valor médio, diferindo estatisticamente das plantas tratadas com bioestimulante.

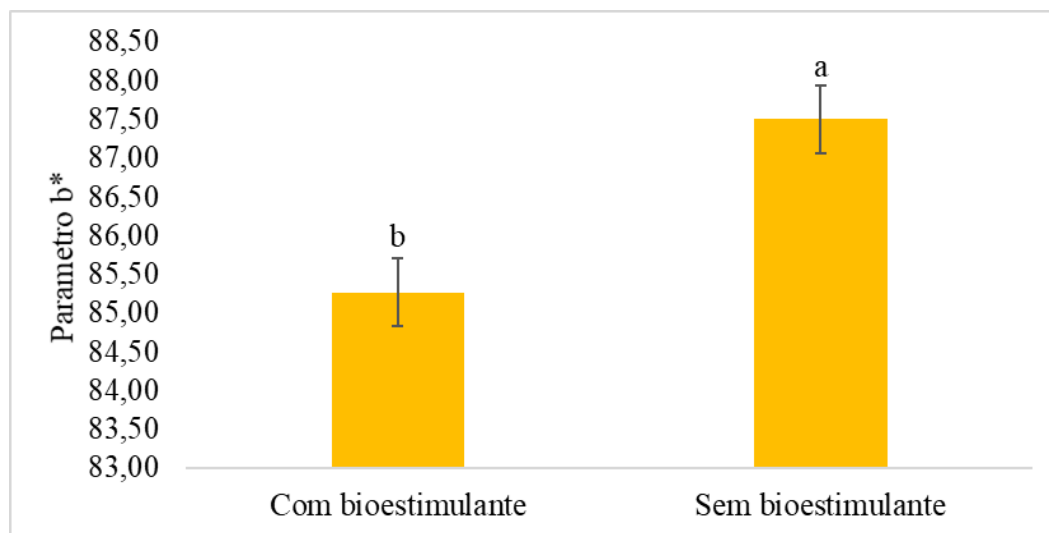


Figura 9: Parâmetro b^* em *Helianthus annuus* submetidos à presença e ausência de bioestimulante. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (Fonte: Dados da pesquisa.).

Discussão

Com base nos resultados obtidos, o aumento significativo dos teores de H_2O_2 na concentração de 16 dS m^{-1} demonstra que esse nível de salinidade foi suficiente para promover alterações no equilíbrio redox das plantas de girassol. O acúmulo de H_2O_2 sob condições de estresse salino é frequentemente descrito como consequência do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio em resposta aos efeitos osmóticos e iônicos causados pelo excesso de sais. Resultados semelhantes foram observados por Younis e Mansour (2024), que relataram maior acúmulo de H_2O_2 em plantas submetidas à elevada salinidade, associando esse aumento à ativação de mecanismos de sinalização e defesa. De forma semelhante, Dumanović et al. (2021) destacam que o acúmulo controlado de H_2O_2 constitui uma resposta frequente em plantas expostas ao estresse salino, atuando como importante molécula sinalizadora de respostas adaptativas.

Embora tenha sido verificado aumento nos teores de H_2O_2 , não foram observadas diferenças significativas para a peroxidação lipídica. Esse resultado indica que, apesar da maior produção de espécies reativas de oxigênio, o acúmulo dessas moléculas não foi suficiente para promover danos oxidativos expressivos às membranas celulares. A manutenção dos níveis de peroxidação lipídica sugere que os mecanismos antioxidantes presentes nas plantas foram capazes de restringir a propagação dos processos oxidativos e

preservar a integridade das membranas. Pressupõe-se também que a molécula de H_2O_2 atuou na sinalização do estresse mesmo sob elevada salinidade, comportando-se como uma resposta adaptativa. Hasanuzzaman et al. (2021) relatam comportamento semelhante, destacando que, embora a salinidade favoreça a superprodução de EROs e possa comprometer componentes celulares, a ação coordenada dos sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos é capaz de manter a homeostase redox e limitar a ocorrência de danos às membranas.

A atividade da superóxido dismutase (SOD) apresentou interação significativa entre salinidade e presença do bioestimulante, indicando que sua resposta foi influenciada simultaneamente pelos dois fatores. Como a SOD constitui a primeira linha de defesa antioxidante, catalisando a dismutação do radical superóxido em H_2O_2 , o aumento de sua atividade em 16 dS m^{-1} pode ser interpretado como uma resposta ao maior fluxo de espécies reativas de oxigênio induzido pelo estresse salino, assim como na concentração de 8 dS m^{-1} pode ser uma modulação dessa enzima advindo da aplicação do bioestimulante, preparando o aparato fisiológico da planta para enfrentar o estresse. Sua atividade elevada na concentração de 0 dS m^{-1} sugere uma alta atividade basal, mesmo sem haver o estresse.

A interação observada nas concentrações sugere ainda que o bioestimulante foi capaz de realizar essa modulação da resposta de forma dependente à intensidade do estresse, evidenciando um efeito fisiológico sobre os mecanismos de defesa celular. Esse resultado encontra suporte em estudos envolvendo bioestimulantes derivados de algas marinhas, sendo este um dos compostos presente no bioestimulante comercial testado. Castro et al. (2024) verificaram que extratos de alga promovem alterações em processos metabólicos relacionados à tolerância a estresses abióticos, favorecendo ajustes fisiológicos e bioquímicos associados à manutenção da homeostase celular. De forma semelhante, Taher et al. (2018) constataram que o estresse salino aumentou a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em três cultivares de *Helianthus annuus* L.

O aumento da atividade da SOD, também foi acompanhado por alterações na atividade da ascorbato peroxidase (APX), que apresentou maiores valores nos tratamentos 0 e 16 dS m^{-1} . A elevada atividade registrada na maior concentração salina sugere uma resposta diretamente associada ao aumento da disponibilidade de H_2O_2 nos tecidos vegetais, uma vez que a APX desempenha papel fundamental na remoção dessa molécula por meio do ciclo ascorbato-glutationa. Segundo Fu e Yang (2023), a indução da APX representa uma das principais estratégias adotadas pelas plantas para evitar o acúmulo excessivo de espécies reativas de oxigênio durante a exposição à salinidade. Assim, a maior atividade da APX observada em 16 dS m^{-1} reforça a hipótese de que os mecanismos antioxidantes foram

suficientemente eficientes para neutralizar o excesso de H_2O_2 gerado sob estresse, contribuindo para a manutenção da integridade das membranas celulares. Por outro lado, a elevada atividade observada também no tratamento controle sugere que a APX atuou juntamente com o aumento da SOD nesta concentração, desempenhando funções constitutivas relacionadas à manutenção do metabolismo oxidativo basal, independentemente da ocorrência de estresse (Yoshimura; Ishikawa, 2024).

A catalase (CAT) desempenha papel fundamental na desintoxicação do H_2O_2 e na manutenção da homeostase redox celular. Nesse sentido, Sousa et al. (2023) demonstraram em arroz que os efeitos decorrentes da inibição da CAT estão relacionados, entre outros fatores, à expressão da APX peroxissomal, evidenciando a atuação integrada dos componentes do sistema antioxidante. No presente estudo, a ausência de diferenças significativas na atividade da CAT em resposta à salinidade e à aplicação do bioestimulante sugere que essa enzima não foi induzida nas condições avaliadas. Considerando o aumento da atividade da APX e sua elevada afinidade pelo H_2O_2 , é possível que o girassol tenha priorizado o ciclo ascorbato-glutationa. Além disso, a ausência de resposta da CAT pode indicar que a sua atividade basal foi suficiente para atender à demanda metabólica imposta pelos tratamentos. Resultados semelhantes têm sido descritos em estudos envolvendo estresse salino, nos quais a CAT não responde de forma consistente ao aumento das espécies reativas de oxigênio. Segundo Anjum et al. (2016), a contribuição relativa dos diferentes componentes do sistema antioxidante varia em função da espécie vegetal, da intensidade do estresse e do estado fisiológico da planta, evidenciando a natureza dinâmica e complementar desses mecanismos de defesa.

Em relação à análise da fluorescência da clorofila a, Swoczyna et al. (2022) destacam que essa é uma técnica não destrutiva amplamente empregada para monitorar o desempenho fotossintético das plantas sob condições de estresse. Entre os parâmetros avaliados em estado estacionário (Lss), o F_v/F_m_Lss está relacionado à eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII), constituindo um importante indicador do estado funcional do aparato fotossintético. O quenching fotoquímico em estado estacionário (qP_Lss) reflete a proporção de centros de reação do PSII capazes de utilizar a energia luminosa nos processos fotoquímicos, enquanto o quenching não fotoquímico em estado estacionário (NPQ_Lss) expressa a dissipação do excesso de energia na forma de calor como mecanismo de fotoproteção. Já a razão de declínio da fluorescência em estado estacionário (Rfd_Lss) é considerada um índice de vitalidade fotossintética, estando relacionada ao desempenho fisiológico e à capacidade fotossintética das plantas.

Considerando especificamente a eficiência quântica máxima do PSII, Younis et al. (2024) observaram que a redução de F_v/F_m em plântulas de girassol submetidas à salinidade estava associada à fotoinibição e ao comprometimento da integridade dos cloroplastos. No presente estudo, a ausência de diferenças significativas para F_v/F_m_{Lss} sugere que os níveis de salinidade empregados não foram suficientes para provocar danos severos ao aparato fotossintético, indicando a manutenção da eficiência quântica máxima do PSII. Resultado semelhante foi relatado por Amaral et al. (2021), que, ao avaliarem os efeitos dos estresses hídrico e salino em girassol, observaram valores de F_v/F_m pouco alterados entre os tratamentos, concluindo que as condições impostas não foram suficientes para promover modificações significativas nesse parâmetro.

Segundo Stefanov, Rashkov e Apostolova (2022), alterações nos parâmetros fotoquímicos em resposta ao estresse salino refletem modificações no fluxo de elétrons e na eficiência funcional do fotossistema II (PSII). Em condições de elevada salinidade, limitações no transporte de elétrons podem alterar a proporção de centros de reação abertos, resultando em modificações nos valores de qP . Os autores ressaltam que a magnitude dessas respostas depende da intensidade do estresse e das características fisiológicas da espécie avaliada.

Os resultados observados, para qP_{Lss} evidenciou que a resposta fotoquímica do PSII foi influenciada pela interação entre a salinidade e a aplicação do bioestimulante. A manutenção dos valores de qP_{Lss} em tratamentos com maior salinidade sugere que, mesmo sob elevadas condições de estresse, os centros de reação do PSII permaneceram aptos a utilizar a energia absorvida nos processos fotoquímicos, indicando que as alterações promovidas pela salinidade sobre a utilização fotoquímica da energia foram dependentes da combinação entre os fatores avaliados.

Em resposta ao quenching não fotoquímico (NPQ_{Lss}), a interação significativa entre os níveis de salinidade e a aplicação do bioestimulante evidenciou efeitos positivos sobre a dissipação de energia em plantas de girassol. Os tratamentos com o bioestimulante permaneceram estatisticamente iguais ao controle ao longo de todas as concentrações. Esse comportamento sugere que esse composto contribuiu para a mitigação dos efeitos do estresse salino, protegendo a dissipação térmica sem comprometer os mecanismos fotoprotetores da planta.

De acordo com Murchie e Lawson (2013), o NPQ tende a aumentar sob condições de estresse moderado e a diminuir quando o estresse se torna severo, refletindo um possível comprometimento dos mecanismos de proteção do fotossistema II (PSII). Shin, Bhandari e Lee (2021) em seu trabalho com melancias enxertadas, observou este mesmo cenário nos

quais a diminuição do NPQ sob elevada salinidade foi atribuída ao desequilíbrio da atividade fotoquímica decorrente desse estresse. Entretanto, os resultados obtidos neste estudo indicam um comportamento distinto. A manutenção do NPQ_Lss sugere estar associada à ação mitigadora do bioestimulante sobre os efeitos da salinidade.

Stefanov, Rashkov e Apostolova (2022) observaram que a redução dos valores de Rfd está associada ao comprometimento da atividade fotossintética em plantas submetidas ao estresse salino, uma vez que alterações no transporte de elétrons e na eficiência funcional do aparato fotossintético são refletidas diretamente nesse parâmetro. Segundo os autores, plantas com maior desempenho fotossintético apresentam valores mais elevados de Rfd, evidenciando a estreita relação desse índice com a funcionalidade do aparato fotossintético.

Nas condições avaliadas, os menores valores de Rfd_Lss foram observados predominantemente nos tratamentos sem aplicação do bioestimulante, enquanto a aplicação desse composto proporcionou valores mais elevados, inclusive sob a salinidade de 16 dS m⁻¹. Considerado um indicador da vitalidade fotossintética, o Rfd_Lss reflete a capacidade das plantas de converter a energia luminosa em atividade fotossintética efetiva. Assim, os maiores valores observados nos tratamentos com bioestimulante sugerem que esse composto contribuiu para a manutenção da funcionalidade fotossintética das plantas, mesmo sob condições de elevada salinidade. Esses resultados reforçam a hipótese de que o bioestimulante atenuou os efeitos deletérios do estresse salino, favorecendo a manutenção do desempenho fisiológico do girassol.

Segundo Li et al. (2022), a análise colorimétrica pelo sistema CIELAB é uma ferramenta sensível para detectar alterações cromáticas em tecidos vegetais, permitindo relacionar mudanças na coloração ao estado fisiológico das plantas. Considerando que as flores liguladas representam um dos principais atributos ornamentais da espécie, as alterações observadas no presente estudo indica que a aplicação do bioestimulante promoveu redução dos valores de L*, indicando menor luminosidade das flores. O deslocamento dos valores de a* em direção à neutralidade cromática sugere menor predominância de traços de coloração esverdeada nos tecidos avaliados com o bioestimulante. Em relação ao parâmetro b*, observou-se uma discreta diferença na intensidade da coloração amarela. Os grupos que não receberam o bioestimulante apresentaram valores 2,23 unidades superiores àqueles que receberam a aplicação. Apesar dessas variações terem sido detectadas instrumentalmente, as diferenças observadas foram sutis e não resultaram em alterações visuais expressivas na aparência das flores. Hernández e Larsen (2013), ao quantificarem mudanças de cor no receptáculo de girassóis em diferentes estádios de maturação, demonstraram que os

parâmetros colorimétricos permitem identificar variações cromáticas objetivamente, mesmo quando estas não representam modificações visuais de grande magnitude.

Conclusão

Os resultados demonstraram que o bioestimulante comercial analisado na concentração de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ via solo pode ser um aliado para a cultura do girassol, visto que essa dosagem demonstrou resultados favoráveis para o desenvolvimento das plantas sob condições de estresse salino.

Os dados corroboram que este bioestimulante atua na regulação do sistema antioxidante, especificamente por meio das enzimas SOD, e assegura a proteção do aparato fotossintético. Paralelamente, constatou-se que o girassol anão é resistente às concentrações de salinidades testadas, o que demonstra que o melhoramento genético para a redução do porte preservou a tolerância ao estresse, característica de cultivares convencionais.

Referências

AMARAL, Alisson Macendo et al. Respostas fisiológicas do girassol em fase reprodutiva ao estresse hídrico e salino. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e97101220199, 2021.

ANJUM, N. A. et al. Catalase e ascorbato peroxidase — enzimas heme representativas da desintoxicação de H_2O_2 em plantas. *Environmental Science and Pollution Research*, [S. l.], v. 23, n. 19, p. 19002–19029, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7309-6>.

BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-Aeration following Hypoxia or Anoxia Leads to Activation of the Antioxidative Defense System in Roots of Wheat Seedlings. *Plant Physiology, Rockville*, v. 116, n. 2, p. 651-658, 1 fev. 1998. DOI: 10.1104/pp.116.2.651. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC35123/>.

BUEGE, John A.; AUST, Steven D. [30] Microsomal lipid peroxidation. In: Methods in enzymology. *Academic press*, 1978. p. 302-310.

CASTRO, Francelita Coelho; DOS SANTOS, Antonio Marcos; ARAÚJO, Jairton Fraga. Salinização dos solos e práticas agrícolas na comunidade quilombola de Cupira em Santa

Maria da Boa Vista, Pernambuco—Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 41, p. e174478, 2021.

CASTRO, R. A. et al. Conversion of *Kappaphycus alvarezii* macroalgae biomass enriched with fulvic acid into a foliar biostimulant for plant (*Oryza sativa* L.) growth and stress protection. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, v. 22, n. 1, p. 114, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00687-6>.

DE LUNA, Kauan Augusto Ceriani et al. Germination and growth control in ornamental sunflower grown under photoconverter screen using different doses of gibberellic acid. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 46, n. 1, p. 255-266, 2025.

DUMANOVIĆ, Jelena et al. The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: A concise overview. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 552969, 2021.

FU, H.; YANG, Y. Como as plantas toleram o estresse salino. *Current Issues in Molecular Biology*, v. 45, n. 7, p. 5914-5934, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb45070374>.

GANDHI, G. et al. Caracterização aprofundada de metabólitos de bioestimulantes vegetais à base de algas marinhas: insights sobre componentes bioativos. *Algal Research*, v. 80, p. 103574, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103574>.

GIANNOPOLITIS, Constantine N.; RIES, Stanley K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology, Rockville*, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.

HAO, S. et al. A Review on Plant Responses to Salt Stress and Their Mechanisms of Salt Resistance. *Horticulturae*, v. 7, n. 6, p. 132, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132>.

HASANUZZAMAN, M. et al. Regulação de Espécies Reativas de Oxigênio e Defesa Antioxidante em Plantas sob Salinidade. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 17, p. 9326, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22179326>.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant Physiology, Rockville*, v. v. 84, n. 2, p. 450–455, June 1987. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>.

HERNANDEZ, L. F.; LARSEN, A. O. Visual definition of physiological maturity in sunflower (*Helianthus annuus L.*) is associated with quantitative color parameters of the receptacle. *Spanish Journal of Agricultural Research*, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 447-454, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3645>.

İKİZ, B. et al. O uso de bioestimulantes como chave para o cultivo hidropônico sustentável de alface sob estresse hídrico salino. *BMC Plant Biology*, v. 24, n. 1, p. 808, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05520-8>.

KISVARGA, S. et al. Effects of biostimulants in horticulture, with emphasis on ornamental plant production. *Agronomy*, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 1043, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051043>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1043>.

LI, M.; FRANK, M. H.; MIGICOVSKY, Z. ColourQuant: A High-Throughput Technique to Extract and Quantify Color Phenotypes from Plant Images. *Methods in Molecular Biology*, [S. l.], v. 2539, p. 77-85, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2537-8_9.

LI, Wenhui et al. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus L.*) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 10626, 2020.

MOHANAVELU, A.; NAGANNA, S.; AL-ANSARI, N. Riscos de salinidade e sodicidade induzidos pela irrigação no solo e nas águas subterrâneas: uma visão geral de suas causas, impactos e estratégias de mitigação. *Agriculture*, v. 11, n. 10, p. 983, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11100983>.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, [S. l.], v. 64, n. 13, p. 3983–3998, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, v. 22, n. 5, p. 867–880, July 1981. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.

NASCIMENTO, Ângela Maria Pereira; REIS, Simone Novaes; NERY, Fernanda Carlota; CURVELO, Iara Cristina Santos; TAQUES, Tainá da Cruz; ALMEIDA, Elka Fabiana Aparecida. Influência de redes de sombreamento colorido no desenvolvimento do girassol ornamental. *Horticultura Ornamental*, [S. l.], v. 1, pág. 101–106, 2016. DOI: 10.14295/oh.v22i1.755. Disponível em: <https://ornamentalhorticulture.com.br/rbho/article/>

NUNES, Aline et al. Efeitos do bioestimulante de *Kappaphycus alvarezii* em espécies de interesse agrícola: uma revisão sistemática (2020-2024). *Agropecuária Catarinense*, [S. l.], v. 38, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v38i3.2204>.

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

ROUPHAEL, Youssef; COLLA, Giuseppe. Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: from experimental data to practical applications. *Agronomy, Basel*, v. 10, n. 10, p. 1461, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10101461.

SANTOS, Maria Eduarda de Souza et al. Uso do paclobutrazol como estratégia de redução do crescimento do girassol ornamental 'Vincent's Choice'. *Horticultura Ornamental*, [S. l.], v. 31, p. e313006, 2025. DOI: 10.1590/2447-536X.v31.e313006. Disponível em: <https://ornamentalhorticulture.com.br/rbho/article/>.

SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; LEE, J. G. Monitoring of Salinity, Temperature, and Drought Stress in Grafted Watermelon Seedlings Using Chlorophyll Fluorescence. *Frontiers in Plant Science*, [S. l.], v. 12, art. 786309, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.786309>.

SOUSA, R. H. V. et al. Impairment in photosynthesis induced by CAT inhibition depends on the intensity of photorespiration and peroxisomal APX expression in rice. *Plant Physiology and Biochemistry*, [S. l.], v. 203, art. 108066, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108066>.

SOWMYA, M. et al. Assessment of Sunflower (*Helianthus annuus L.*) Genotypes for Salinity Tolerance during Germination: A Physiological Traits Analysis. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 47, n. 7, p. 539-550, 2025.

STEFANOV, M.; RASHKOV, G. D.; APOSTOLOVA, E. Avaliação das funções do aparelho fotossintético por fluorescência da clorofila e absorbância de P700 em plantas C3 e C4 sob condições fisiológicas e sob estresse salino. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 7, p. 3768, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23073768>.

SWOCZYNA, T. et al. Environmental stress - what can we learn from chlorophyll a fluorescence analysis in woody plants? A review. *Frontiers in Plant Science*, [S. l.], v. 13, art. 1048582, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1048582>.

TAHER, Mehdi et al. Morphological and biochemical changes in response to salinity in sunflower (*Helianthus annuus L.*) cultivars. *Italian Journal of Agronomy*, v. 13, n. 2, p. 1096, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1096>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125471824006443>.

TAKII SEED. *Helianthus* F1 Sunny Smile. Salinas, CA: American Takii, 2015. Disponível em: <https://takii.com/wp-content/uploads/2015/09/Helianthus-F1-Sunny-Smile-Rev-B1.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2026.

TÜTÜNCÜ, M. et al. Plant biostimulants in ornamentals: Enhancing growth and stress tolerance. *Advances in Horticultural Science*, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 115-125, 2024. DOI: <https://doi.org/10.36253/ahsc-15253>.

VELIKOVA, Violeta; YORDANOV, Ivan; EDREVA, Aglika. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

YOSHIMURA, K.; ISHIKAWA, T. Função fisiológica e regulação das isoformas da ascorbato peroxidase. *Journal of Experimental Botany*, v. 75, n. 9, p. 2700–2715, 3 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erae061>.

YOUNIS, A. A.; MANSOUR, M. M. F. Hydrogen sulfide-mitigated salt stress impact in sunflower seedlings was associated with enhancement of photosynthesis performance and osmoregulation. *BMC Plant Biology*, [S. l.], v. 24, art. 422, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05071-y>.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, o bioestimulante comercial analisado demonstrou resultados positivos na mitigação do estresse salino no cultivo de girassol anão (*Helianthus annuus* cv. F1 Sunny Smile) na concentração de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ via solo. Essa dosagem pode auxiliar no seu estabelecimento em condições salinas, visto que sua aplicação em cultura de girassol não consta no rótulo comercial do produto. A aplicação do produto viabilizou o desenvolvimento das plantas em condições adversas, favorecendo a manutenção da taxa e da vitalidade fotossintética mesmo sob concentrações salinas de 16 dS m^{-1} .

Sob a perspectiva fisiológica e bioquímica, o experimento evidenciou que o estresse salino induziu alterações metabólicas na cultura, as quais foram eficientemente contornadas pela ativação do sistema antioxidante. O estímulo enzimático promoveu a remoção de espécies reativas de oxigênio, garantindo a manutenção da homeostase redox, a integridade celular e, por consequência, a integridade do aparato fotossintético das plantas com a aplicação do bioestimulante. Ademais, este estudo traz uma contribuição relevante ao demonstrar que o girassol anão apresenta capacidade de tolerância à salinidade nas condições testadas, tendo sido preservada no melhoramento genético o mecanismo de defesa característico dessa cultura.

REFERÊNCIAS

BALTAZAR, M. et al. Avanços recentes nos efeitos moleculares de bioestimulantes em plantas: uma visão geral. **Biomoléculas**, v. 11, n. 8, p. 1096, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11081096>.

CURTI, Gislaine L. et al. Girassol ornamental: caracterização, pós-colheita e escala de senescência. **Revista de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 35, p. 241-244, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-211>.

EL-RAMADY, H. et al. Revisão da resposta das culturas ao estresse salino do solo: possíveis abordagens, da lixiviação ao nanogerenciamento. **Soil Systems**, v. 8, n. 1, p. 11, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010011>.

GANDHI, G. et al. Caracterização aprofundada de metabólitos de bioestimulantes vegetais à base de algas marinhas: insights sobre componentes bioativos. **Algal Research**, v. 80, p. 103574, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103574>.

HAO, S. et al. A Review on Plant Responses to Salt Stress and Their Mechanisms of Salt Resistance. **Horticulturae**, v. 7, n. 6, p. 132, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132>.

MANDAL, S. et al. Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. **Environmental Research**, v. 233, p. e116357, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>.

MEDEIROS, Carolina Moreira de; LUZ, Petterson Baptista da. Ornamental sunflower production and the use of industrial waste as a substrate. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e28210615263, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15263. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/15263>.

MOHANAVELU, A.; NAGANNA, S.; AL-ANSARI, N. Riscos de salinidade e sodicidade induzidos pela irrigação no solo e nas águas subterrâneas: uma visão geral de suas causas, impactos e estratégias de mitigação. **Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 983, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11100983>.

NUNES, Aline et al. Efeitos do bioestimulante de *Kappaphycus alvarezii* em espécies de interesse agrícola: uma revisão sistemática (2020-2024). **Agropecuária Catarinense**, [S. l.], v. 38, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v38i3.2204>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>

PILORGÉ, E. Girassol no sistema global de óleo vegetal: situação, especificidades e perspectivas. **OCL**, v. 27, p. 28, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>.

SHOKRI, N.; HASSANI, A.; SAHIMI, M. Soil Salinity Dynamics Across Multiple Scales, From the Global to the Pore Scale: A Review. **Reviews of Geophysics**, [S. l.], v. 62, n. 1, p. e2023RG000804, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023RG000804>.

SOWMYA, M. et al. Assessment of Sunflower (*Helianthus annuus L.*) Genotypes for Salinity Tolerance during Germination: A Physiological Traits Analysis. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 47, n. 7, p. 539-550, 2025.

STAVI, I.; THEVS, N.; PRIORI, S. Salinidade e sodicidade do soil em terras secas: uma revisão de causas, efeitos, monitoramento e medidas de restauração. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 712831, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>.

TOMASI, Tuane Carlesso *et al.* Plant density and location: optimization of growth and quality of cut sunflower in tropical and subtropical environments. **Plants**, [S. l.], v. 13, n. 19, p. 2810, 2024. DOI: 10.3390/plants13192810.

YAKHIN, Oleg I. et al. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. v. 7, p. 2049, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2016.02049. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.02049/full>