



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

GABRIELA DE SOUSA FERREIRA

**SUPLEMENTAÇÃO COM SELÊNIO E INFLUÊNCIA NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)
SUBMETIDAS A ESTRESSES AMBIENTAIS**

Maracanaú, Ceará

- 2022 –

GABRIELA DE SOUSA FERREIRA

**SUPLEMENTAÇÃO COM SELÊNIO E INFLUÊNCIA NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)
SUBMETIDAS A ESTRESSES AMBIENTAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis, outorgado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE - *Campus* Maracanaú

**ORIENTADOR:
PROF. DR. FRANKLIN ARAGÃO GONDIM**

Maracanaú, Ceará

- 2022 -

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

FERREIRA, GABRIELA DE SOUSA.

SUPLEMENTAÇÃO COM SELÊNIO E INFLUÊNCIA NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) SUBMETIDAS A ESTRESSES AMBIENTAIS / GABRIELA DE SOUSA FERREIRA. - 2022.

87 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2022.

Orientação: Prof. Dr. FRANKLIN ARAGÃO GONDIM.

1. Girassol. 2. Selênio. 3. Estresse hídrico. 4. Estresse Salino. I. Título.

CDD 620.91

GABRIELA DE SOUSA FERREIRA

SUPLEMENTAÇÃO COM SELÊNIO E INFLUÊNCIA NO CRESCIMENTO E
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) SUBMETIDAS
A ESTRESSES AMBIENTAIS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em 30/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Roberto Albuquerque Pontes Filho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Paulo André Ferreira de Freitas
Secretaria de Educação do Estado do Ceará - SEDUC

Dedico esse trabalho
aos meus pais Vicente de Paula Ferreira
e Maria da Conceição Coelho de Sousa,
ao meu irmão Vicente de Paula Ferreira Filho
e ao meu namorado Paulo Ovídio Batista de Brito
Com carinho e admiração.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, saúde e sabedoria concedida para que eu pudesse chegar até aqui. Foram anos difíceis, porém sempre que eu me vi em situações que achei que estaria só, Deus se fez presente.

Aos meus pais Vicente de Paula Ferreira e Maria da Conceição Coelho de Sousa, por toda a dedicação e esforço para me dar a melhor educação que podiam, sem eles não seria possível estar aqui.

Ao meu irmão Vicente de Paula Ferreira Filho, agradeço por sua amizade e por seu talento para ser meu revisor sempre que precisei.

Ao meu namorado Paulo Ovídio Batista de Brito, por seu amor, carinho e companheirismo. Sua ajuda foi primordial em todas as etapas desse trabalho, obrigada por acordar cedo para regar as plantas comigo, ficar até tarde no laboratório fazendo análises, tirar minhas dúvidas aleatórias e, acima de tudo, me ajudar a resolver os problemas que apareceram.

Ao meu orientador e amigo Franklin Aragão Gondim por todos os ensinamentos compartilhados, confiança e amizade. Jamais esquecerei as sabias lições aprendidas. Obrigada por me inspirar profissionalmente e pessoalmente.

Aos meus amigos e companheiros de pesquisa do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal. Em especial ao Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo por todos os “vai dar certo amiga”, ao Elias do Nascimento de Sousa Filho por todas as vezes que fez a dancinha do espectrofotômetro comigo, a Gabrielli Teles de Carvalho e Tiago de Abreu Lima por não medirem esforços para se fazerem presentes sempre que precisei de um auxílio.

Aos componentes da banca, aos professores Paulo André Ferreira de Freitas, Rosilene Oliveira Mesquita e Roberto Albuquerque Pontes Filho pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”

(Jean Cocteau)

RESUMO

FERREIRA, G. S. **Suplementação com selênio e influência no crescimento e fisiologia de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a estresses ambientais.** Orientador: Franklin Aragão Gondim. Maracanaú: IFCE. 87p. (Dissertação). 2022.

A utilização de aditivos, como os fertilizantes, quando dimensionados corretamente, aumentam a produtividade corrigindo o déficit de alguns nutrientes. O Selênio (Se), micronutriente que pode ser benéfico a vegetação, sendo utilizado como auxiliar nas defesas das plantas nos períodos de seca. É um elemento que possui característica antioxidante, atuando na dissociação de elementos reativos ao oxigênio. Este trabalho teve por objetivo investigar o efeito da aplicação de diferentes doses e modo de aplicação (no substrato ou por pulverização foliar) de fontes de selênio nas respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de girassol submetidas ao estresse hídrico ou salino. Os experimentos foram realizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *campus* Maracanaú, Ceará, na casa de vegetação do laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal utilizando sementes de girassol, cultivar BRS 323. Foram realizados três experimentos independentes em que no primeiro experimento, realizou-se uma comparação entre as formas de selênio aplicadas, sendo empregado selenato de sódio e selenito de sódio, com aplicação diretamente no substrato ou por pulverização foliar em plantas de girassol. Nos resultados encontrados as doses aplicadas em solo se sobressaíram às aquelas aplicadas por pulverização foliar nas variáveis de crescimento (altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e massa seca da parte aérea) e nos teores relativos de clorofila. No segundo experimento, empregou-se as dosagens de 0,2 mg L⁻¹, 0,4 mg L⁻¹ e 0,8 mg L⁻¹ de selenato de sódio ou selenito de sódio aplicadas diretamente no substrato no cultivo de girassol. Em geral, o tratamento com concentração de 0,8 mg L⁻¹ de selenito de sódio superou o tratamento controle em todas as variáveis analisadas, sendo elas Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Catalase (CAT), Peroxidase do Ascorbato (APX) e Peroxidase do Guaiacol (GPX). No terceiro experimento, utilizou-se a concentração de 0,8 mg L⁻¹ de selenito de sódio no solo para o cultivo de girassol em quatro condições de irrigação, sendo elas: 1) ausência de estresse, 2) estresse salino a 50 mM NaCl, 3) estresse salino a 100 mM

NaCl e, 4) estresse hídrico (suspensão da irrigação aos 14 dias após a semadura). A concentração de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio na ausência ou presença de estresse se sobressaiu em sua maioria ao tratamento controle no aumento da MSPA. Adicionalmente, a atividade das enzimas antioxidativas foram predominantemente maiores para as plantas de girassol acrescidas de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio. Assim, sugere-se que a adição de selênio em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) pode promover efeitos positivos sobre incremento de biomassa, o que pode favorecer no aumento do rendimento do cultivo.

Palavras-chave: Girassol; Selênio; Estresse hídrico; Estresse Salino.

ABSTRACT

FERREIRA, G. S. **Selenium supplementation and influence on the growth and physiology of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) subjected to environmental stress.** Advisor: Franklin Aragão Gondim. Maracanaú: IFCE. 87p. (Ms. Dissertation). 2022.

The use of additives, such as fertilizers, when dimensioned correctly, increase productivity by correcting the deficit of some nutrients. Selenium (Se), a micronutrient that can be beneficial to vegetation, is used as an aid in plant defenses during periods of drought. It is an element that has antioxidant characteristics, acting in the dissociation of elements reactive to oxygen. The objective of this work was to investigate the effect of applying different doses and mode of application (in the substrate or by foliar spraying) of selenium sources on the physiological and biochemical responses in sunflower plants subjected to water or salt stress. The experiments were carried out at the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Maracanaú campus, Ceará, in the greenhouse of the Biochemistry and Plant Physiology laboratory using sunflower seeds, cultivar BRS 323. Three independent experiments were carried out. In the first experiment, a comparison was made between the forms of selenium applied, using sodium selenate and sodium selenite, applied directly to the substrate or by foliar spraying on sunflower plants. The results showed that the doses applied to the soil were superior to those applied by foliar spraying in terms of growth variables (plant height, stem diameter, number of leaves and shoot dry mass) and relative chlorophyll contents. In the second experiment, dosages of 0.2 mg L⁻¹, 0.4 mg L⁻¹ and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate or sodium selenite were applied directly to the substrate in sunflower cultivation. In general, the treatment with a concentration of 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite outperformed the control treatment in all analyzed variables, namely Shoot Dry Mass (SDM), Catalase (CAT), Ascorbate Peroxidase (APX) and Guaiacol Peroxidase (GPX). In the third experiment, a concentration of 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite in the soil was used for sunflower cultivation under four irrigation conditions, namely: 1) absence of stress, 2) saline stress at 50 mM NaCl, 3) saline stress at 100 mM NaCl and, 4) water stress (suspension of irrigation 14 days after sowing). The concentration of 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite in the absence or presence of stress mostly outperformed the control treatment in increasing SDM. Additionally, the activity of antioxidative

enzymes were predominantly higher for sunflower plants supplemented with 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite. Thus, it is suggested that the addition of selenium in sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) may promote positive effects on the increase of biomass, which may favor the increase of crop yield.

Keywords: Sunflower; Selenium; Hydric stress; Saline Stress.

LISTA DE FIGURAS

EXPERIMENTO I

ARTIGO 1 - ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL SUPLEMENTADAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SELÊNIO NO SOLO

Figura 1. Plantas de girassol aos 19 dias após a semeadura (DAS) cultivadas com selênio no substrato nas dosagens de 0,0 g L⁻¹ (tratamento controle); 0,0008 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0008 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0067 g L⁻¹ d de selenito de sódio37

Figura 2. Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de girassol aos 19 DAS cultivadas com selênio no substrato nas dosagens de 0,0 g L⁻¹ (tratamento controle); 0,0008 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0008 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0067 g L⁻¹ d de selenito de sódio 38

ARTIGO 2 - ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF SELENIUM APPLICATION ON LEAVES OR SUBSTRATE ON THE GROWTH OF SUNFLOWER PLANTS

Figura 1. Selenium application modalities and concentrations employed 45

Figura 2. Plant height of *Helianthus annuus* L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying.....46

Figura 3. Stem diameter of *Helianthus annuus* L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying.....47

Figura 4. Leaf number of <i>Helianthus annuus</i> L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying. The bars represent the mean values of five replicates.	48
Figura 5. Chlorophyll relative contents of <i>Helianthus annuus</i> L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying.	49

EXPERIMENTO II

ARTIGO 3 - PLANT GROWTH AND ANTIOXIDATIVE ENZYMES IN SUNFLOWER SUPPLEMENTED WITH SELENIUM

Figura 1. Shoot Dry Mass at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations.....	57
Figura 2. CAT enzyme activity at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations	58
Figura 3. APX enzyme activity at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations.....	59
Figura 4. GPX enzyme activity at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations	59

EXPERIMENTO III

ARTIGO 4 - SELÊNIO EM GIRASSOL SOB ESTRESSE E ATIVIDADE ENZIMÁTICA

Figura 1. Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de girassol crescidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação.....	70
Figura 2. Atividade da enzima catalase (CAT) de plantas de girassol crescidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação.....	72
Figura 3. Atividade da enzima peroxidase do ascorbato (APX) de plantas de girassol crescidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação.....	73

Figura 4. Atividade da enzima peroxidase do guaiacol (GPX) de plantas de girassol acrescidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação	75
--	----

LISTA DE QUADROS

EXPERIMENTO III

ARTIGO 4 - SELÊNIO EM GIRASSOL SOB ESTRESSE E ATIVIDADE ENZIMÁTICA

Quadro 1 - Regime de irrigação empregado no delineamento experimental.....68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1. A produção de biodiesel e a cultura do girassol	18
2.2. Selênio	19
2.3. Estresses ambientais em plantas	20
REFERÊNCIAS	23
4. OBJETIVOS	31
4.1. Objetivo Geral	31
4.2. Objetivos específicos	31
5. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL	32
EXPERIMENTO I	33
ARTIGO 1.....	33
ARTIGO 2.....	41
EXPERIMENTO II.....	54
ARTIGO 3.....	54
EXPERIMENTO III	63
ARTIGO 4.....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
ANEXOS	83

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas e semiáridas brasileiras, o solo apresenta uma alta deposição de sais tornando-o salinizado. Como resultado do excesso de minerais, as plantas passam a ter deficiências na absorção de água e nos processos fisiológicos, como alterações no funcionamento das enzimas, déficit do transporte de nutrientes, limitação fotossintética e toxicidade a íons específicos (SILVA; DA SILVA, 2016; SILVEIRA *et al.*, 2010). Nesse sentido, faz-se necessário um manejo adequado que aperfeiçoe às áreas agricultáveis existentes e a utilização racional dos insumos.

A utilização de insumos, como os fertilizantes, quando dimensionados corretamente, aumentam a produtividade corrigindo o déficit de alguns nutrientes (ARTUZO *et al.*, 2017). O Selênio (Se), micronutriente benéfico para as plantas, pode ser utilizado como auxiliar nas defesas das plantas nos períodos de seca. É um elemento que possui característica antioxidante, atuando na dissociação de espécies reativas ao oxigênio (PILISSAO *et al.*, 2020).

O Se é um dos elementos presentes em pequenas quantidades na superfície terrestre e é encontrado naturalmente em quantidades de 10 e 2000 mg m⁻³ de solo. Sua concentração pode afetar a agricultura, uma vez que, em excesso, limita às espécies vegetais e, em déficit, compromete a produtividade da flora (FARIA; KARP, 2015).

Por ser considerado um elemento essencial aos seres humanos, o selênio tem sido acrescentado como uma estratégia de biofortificação agrônômica. Quando disponível em doses adequadas, atua no sistema antioxidante das plantas, auxiliando na defesa contra os estresses abióticos e bióticos, proporcionando efeitos positivos sobre seu crescimento (LARA, 2016).

Alguns tipos de cultivos são atrativos para agregar rotas mais sustentáveis de geração de energia, como aqueles voltados para a produção de biocombustíveis. Uma espécie que pode ser cultivada com essa finalidade é a *Helianthus annuus* L., popularmente conhecida como Girassol, pois é uma cultura que se ajusta bem em todo o território brasileiro (WASILEWSKI, 2016).

Visando o viés energético e com o intuito de verificar a viabilidade e analisar o comportamento do selênio como suplemento adicional a um fertilizante comercial, mediante situações de estresse em um cultivo, optou-se pela planta de girassol como material vegetal. Supondo assim o efeito benéfico do selênio sobre crescimento e sistema antioxidante de plantas de girassol. A pesquisa teve o objetivo de investigar o

efeito da aplicação de diferentes doses e modo de aplicação (no substrato ou por pulverização foliar) de fontes de selênio nas respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de girassol submetidas ao estresse hídrico ou salino.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A produção de biodiesel e a cultura do girassol

A demanda por novas fontes energéticas que possam substituir os combustíveis fósseis tem sido cada vez mais visada pelos setores tanto de produção quanto de consumo. Além de buscar características como a capacidade de renovação, o viés ambiental também é considerado. Sabe-se que a queima de combustíveis fósseis é um agravante à poluição atmosférica, pois a produção de gases nocivos contribui para fenômenos como: aquecimento global, chuva ácida e smog fotoquímico (COELHO, 2016).

Uma alternativa renovável é o biodiesel, um biocombustível cujos subprodutos possuem teores reduzidos de material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos totais (SHAHID; JAMAL, 2016). O biodiesel é uma substância biodegradável, formada por ésteres de ácidos graxos de cadeia longa. Sua obtenção pode ser feita por processos como o de transesterificação a partir de óleos vegetais ou gorduras animais (KINNAL *et al.*, 2018).

As propriedades físicas e químicas dos óleos vegetais estão atreladas aos triacilgliceróis. Estes que são formados de ácidos e glicerina unidos por ligações ésteres e vão representar cerca de 98% da estrutura dos óleos. Na reação para a formação do biodiesel, um triglicerídeo reage com um álcool, na presença de um catalisador, obtendo como produto uma mistura de ésteres de ácidos (THEODORO *et al.*, 2015).

Os óleos vegetais são os mais difundidos na produção de biodiesel. Algumas oleaginosas são destaque como matéria prima, tais como a soja, mamona, palmeira, girassol, pinhão-manso, babaçu e amendoim. Para a seleção do material vegetal, algumas características são observadas, como adaptação à região de cultivo, produtividade elevada e características físico-químicas (SOUZA, 2019).

Na produção do biodiesel, o girassol ainda não é uma matéria-prima tão expressiva quanto a soja. O óleo de girassol, apesar de ter uma estrutura com um alto teor de ácidos graxos insaturados, possui uma instabilidade oxidativa, comprometendo

sua estocagem por longos períodos. Tal processo se dá pela alta quantidade dos ácidos oleico e linolênico que, ao reagir com o oxigênio atmosférico, gera uma acidez oxidativa. No entanto, estudos comprovam soluções aceitáveis através de inibidores oxidativos, entre os mais usuais estão o terc-butil-hidroquinona e o butil-hidroxi-tolueno (SQUISSATO, 2015).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa de ciclo anual que se aclimata bem às variações climáticas e ao déficit hídrico (SILVA *et al.*, 2017). Agronomicamente, é um cultivo de grande interesse, pois é resistente às variações geográficas e edafoclimáticas, além de ter um sistema radicular que propicia melhoras no solo em termos químicos, físicos e biológicos (SANTOS *et al.*, 2015).

Em relação à estrutura do girassol, seu sistema radicular é do tipo pivotante que se estende por grandes profundidades no solo, seu caule é herbáceo, suas folhas variam de coloração entre verde-escuro a verde-amarelo e possui inflorescência do tipo capítulo com flores hermafroditas que dão origem a uma média de 800 a 1700 frutos (FREIRE, 2016).

Apesar da estrutura do girassol, com um sistema radicular que propicia uma maior exploração do solo e aproveitamento de nutrientes, a produtividade desse cultivo está atrelada às técnicas agrícolas empregadas. Déficits em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio representam redução em parâmetros como o número de folhas e área foliar da planta de girassol (FREITAS *et al.*, 2021).

Na indústria, o girassol é comercializado e empregado para diversos fins, como: rotações de culturas; projetos paisagísticos, como planta ornamental; na alimentação humana, em forma de óleo; na alimentação animal, em forma de ração e em biocombustíveis, como o biodiesel (CARVALHO *et al.*, 2017).

2.2. Selênio

Selênio (Se) é um elemento disponível de forma natural na superfície terrestre, sendo essencial para o bom desenvolvimento humano e animal. Nas plantas, embora não seja essencial, atua no aumento de crescimento. O Se é fundamental para as selenoproteínas e selenoenzimas do sistema antioxidante da planta (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A atuação do Se como antioxidante se dá através da proteção das membranas e organelas celulares. Sabe-se que o acúmulo de espécies reativas ao oxigênio (ROS) e suas interações com moléculas biológicas podem resultar em uma rápida morte celular. Os mecanismos de defesa das plantas previnem o estresse oxidativo. Alguns metabólitos antioxidantes são primordiais, tais como o ácido ascórbico, a glutatona (GSH), o α -tocoferol e os carotenoides (VIARO *et al.*, 2001; BARBOSA *et al.*, 2014).

Há estudos que comprovam que a incorporação do Se aumenta da resistência vegetal ao déficit hídrico. Entretanto, a concentração do Se definirá os efeitos benéficos ou tóxicos às plantas. Elevados teores ativam as ações oxidativas, pois a planta utiliza a produção de compostos voláteis como mecanismo de defesa (MARTINEZ *et al.*, 2009; REIS *et al.*, 2014; MATTOS *et al.*, 2019).

Os teores de Se nas plantas vão variar de acordo com sua absorção, podendo ser classificadas a partir do teor deste elemento mineral em seu tecido foliar. Sendo hiperacumuladoras (1000-15000 mg Se kg⁻¹ de massa seca), acumuladoras (100-1000 mg Se kg⁻¹ de massa seca) e não acumuladoras (<100 mg Se kg⁻¹ de massa seca) (FERREIRA, 2016).

No solo, o Se é encontrado nas formas de Selênio elementar, Seleneto, Selenato e Selenito. O Selenito interage com os minerais do solo e tem um complexo mecanismo de absorção pelas plantas. O Selenato é absorvido pela planta através das raízes, por meio dos transportadores de íons sulfato (SILVA, 2012; MIKKELSEN, 2013).

2.3. Estresses ambientais em plantas

A escassez hídrica afeta significativamente o território brasileiro ao longo do tempo, com agravante na região Nordeste. Esta região semiárida passou por alguns eventos de secas históricas, como entre os anos de 1979 a 1985. Nesse período houve redução em cerca de 82% na produtividade de culturas como a do milho. De forma análoga, entre os anos de 2012 a 2017, vários estados decretaram estado de emergência pelo déficit hídrico e desde então cerca de 90% dos reservatórios dessa região são voltados ao abastecimento humano (COSTA, 2021).

A água é um componente essencial aos cultivos, seu déficit susceptibiliza as plantas aos patógenos, interfere em seus processos fisiológicos, como a redução da fotossíntese, fechamento estomático e redução da transpiração (RIBEIRO, 2021).

O organismo vegetal possui uma faixa tolerável de capacidade de água, ao seu excesso ou déficit denominamos como estresse hídrico. Essa condição induz à mudanças e respostas biológicas, uma das estratégias vegetais é a regulação osmótica, seja pelo acúmulo ou compartimentalização de solutos (SOUSA; SOUSA, 2017). A troca de água entre a planta e o ambiente mantém as reações metabólicas ativas, a maior parte desse fluído é absorvido através das raízes, sendo assim diretamente influenciado pela quantidade de água no solo (JUNIOR *et al.*, 2019).

O ajuste osmótico das plantas pode conferir tolerância à seca, com o acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos. Também denominados de solutos compatíveis, tais como açúcares solúveis, prolina e glicina. Alguns deles são armazenados nos vacúolos, outros no citosol e isso faz com que as plantas mantenham equilíbrio do potencial hídrico (BITTENCOURT; SILVA, 2018).

No estado de déficit hídrico, a planta, para reter água, tende a retrair seus estômatos, limitando a transpiração. Ocasionalmente redução da turgescência celular, condutância estomática e fotossíntese. A limitação de CO₂ acarreta excedentes energéticos disponíveis nos fotossistemas dos tilacóides e a planta passa a produzir em excesso espécies reativas de oxigênio (ROS - do inglês *Reactive Oxygen Species*), estas que elevam a peroxidação lipídica celular e a permeabilidade da membrana (SILVA, 2020).

São ROS o peróxido de hidrogênio, o radical ânion superóxido, o radical hidroxila e o oxigênio singlete. Por meio delas são oxidadas as proteínas, moléculas de RNA, DNA, lipídeos e pigmentos fotossintéticos, causando um estresse ao vegetal. Esse excesso de ROS é eliminado por meio de mecanismos antioxidativos, que podem ser enzimáticos ou não enzimáticos. Quando enzimático, algumas das enzimas geradas são a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), e peroxidases totais (POXs). Quando não enzimático, pigmentos como os carotenóides desenvolvem atividades antioxidantes no cloroplasto (ROSA, 2017).

Outra característica que causa estresse as plantas é o acúmulo de sais, aproximadamente 10% do total das terras cultiváveis do mundo são afetadas pela salinidade. No Brasil existem cerca de 45 milhões de hectares em estágios de salinização. Na porção semiárida brasileira, além de um solo com características salinas, as altas taxas evaporação fazem com que o teor de sal esteja mais concentrado nas águas (LIMA *et al.*, 2020). A característica salina pode ser oriunda de alguns fatores, tais

como material de origem do solo, uso inadequado ou excesso de fertilizantes minerais, drenagem ineficaz e aspectos ambientais (NÓBREGA *et al.*, 2018).

O estresse salino é um efeito abiótico onde ocorre um aumento nas contrações de sais seja no meio hídrico ou no solo. A planta em contato com esse meio sofre alterações (LIMA *et al.*, 2019). No solo, condutividades elétricas do extrato de saturação superiores a 4 dS.m⁻¹ a 25°C conferem ao mesmo um caráter salino. Geralmente são solos com um pH inferior a 8,5 (RICHARDS, 1954).

A salinidade compromete o crescimento e produtividade em plantas, seu efeito deletério está associado ao transporte de água na planta, causando desequilíbrio nutricional e toxicidade a íons específicos (GRANJA *et al.*, 2019). A planta para sobreviver faz aclimações em processos como o fluxo de água para células e a abertura estomática, evitando altas concentrações salinas nos tecidos (SOUSA, 2020).

A toxicidade a íons específicos é gerada pelo incremento destes ao fluxo de transpiração, ocasionando assim efeitos em cadeia, gerando alterações na membrana plasmática, inibição de enzimas, dificultando a absorção de elementos essenciais, pode causar danos a folhagem e, o somatório desses fatores, acarreta a redução do crescimento do cultivo (COSTA, 2017). Ao elevar a salinidade, a planta tende a fechar parcialmente seus estômatos reduzindo a transpiração e as trocas gasosas acarretando uma menor absorção de CO₂. Menores taxa de fixação de CO₂ comprometem a fotossíntese. Esse estresse, além de causar um fotodano ao cultivo, ativa produção das ROS. No intuito de evitar a formação dessas espécies são acionados mecanismos antioxidativos, o processo mais básico inclui a transformação dos superóxidos em H₂O₂ por meio da enzima dismutase do superóxido (SOD). O H₂O₂ também é dissociado em água e oxigênio por enzimas como a peroxidases do ascorbato (APX), peroxidases não específicas (como a peroxidase do guaiacol - GPX) e a Catalase (CAT) (SILVA, 2016).

REFERÊNCIAS

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SILVA, L. X. Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Paraná, v. 13, n. 29, p. 146-161, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4966/496654016011.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2022.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Recife, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/StM4DybRNLZwJbpPNZ7gbVk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 28 jan. 2022.

BITTENCOURT, P. P.; SILVA, L. N. N. D. S. Estresse hídrico em plantas: aspectos morfofisiológicos, adaptações e mecanismos de resposta. **VIII Botânica no Inverno**, São Paulo, p. 235-244, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Leyde-Nayane-Silva/publication/334429800_Estresse_hidrico_em_plantas_aspectos_morfofisiologicos_adaptacoes_e_mecanismos_de_resposta/links/5d28ab27299bf1547cb109e1/Estresse-hidrico-em-plantas-aspectos-morfofisiologicos-adaptacoes-e-mecanismos-de-resposta.pdf#page=235. Acesso em: 7 jan. 2022.

CARVALHO, C. G.; COSTA, C. A.; RESENDE, J. C. Girassol safrinha na Bacia do Jequitinhonha, Minas Gerais. In: Simpósio Nacional Sobre a Cultura do Girassol, 10., 2017, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa soja, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1078059/1/159XXIIRNPG2017Anais.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2022.

COELHO, Bruna Naidon. **Purificação e performance da reutilização do Magnesol usado na purificação de biodiesel como proposta de diminuição dos custos do processo**. 2016. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Tecnologia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em:

https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/7662/2/DIS_BRUNA_NAIDON_COELHO_COMPLETO.pdf. Acesso em: 20 fev. 2022.

COSTA, Mateus de Alencar. **Regionalização do índice de estresse hídrico WSI para o nordeste brasileiro – Ceará**. 2021. 103 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58517>. Acesso em: 20 fev. 2022.

COSTA, Maria Eugênia da. **Efeito do biochar e de águas salinas sobre o crescimento e nutrição do milho e na salinidade do solo**. 2017. 52 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/899>. Acesso em: 20 fev. 2022.

FARIA, L. de A.; KARP, F. H. S. Selênio: Elemento essencial ao homem e aos animais e benefício às plantas. **Jornal Informações Agronômicas**, Brasil, março de 2015, n°149, p. 17-22. Disponível em: [http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/67463FD70C95D9E983257E200065D187/\\$FILE/Page17-22-149.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/67463FD70C95D9E983257E200065D187/$FILE/Page17-22-149.pdf). Acesso em: 13 mar. 2022.

FERREIRA, T. M. M.; SANTOS, M. D. L.; LOPES, C. L.; SOUSA, C. A. F. D.; SOUZA JUNIOR, M. T. Efeito do estresse salino em *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. acesso A10. 1 durante a germinação das sementes e desenvolvimento das plantas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/CHL9Xsh5xDmdsBN4XfJhmqs/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 mar. 2022.

FERREIRA, Raphael Leone da Cruz. **Biofortificação e toxicidade de selênio na cultura da alface em solução nutritiva**. 2016. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144363>. Acesso em: 3 mar. 2022.

FREIRE, Jonas de Oliveira. **Cultivo do girassol irrigado sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio**. 2016. 54 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/tede/596>. Acesso em: 6 mar. 2022.

FREITAS, G. Q.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; CUNHA, F. N.; SILVA N. F.; FAVARETO, R.; VIDAL, V. M. Cultivo de girassol em diferentes condições de adubação orgânica e mineral. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e1010615395-e1010615395, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15395>. Acesso em: 23 fev. 2022.

GRANJA, M. B.; VITORINO, P. J. P.; DE OLIVEIRA SOUSA, V. F.; RODRIGUES, M. H. B. S.; DINIZ, G. L., DE ANDRADE, F. H. A.; NOBRE, R. G. Variedades de feijão-fava submetidas à níveis de salinidade e adubação orgânica. **Colloquium Agrariae**, v.15, n. 1, p. 104-114, 2019. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2440>. Acesso em: 23 fev. 2022.

JÚNIOR, G. D. N. A.; GOMES, F. T.; DA SILVA, M. J.; DA ROSA JARDIM, A. M. F.; SIMÕES, V. J. L. P.; IZIDRO, J. L. P. S.; SILVA, T. G. F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 148, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/d06c/46940b63fe8ca52fbc1a441213019b3a209.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

KINNAL, N.; SUJAYKUMAR, G.; D'COSTA, S. W.; GIRISHKUMAR, G. S. Investigation on Performance of Diesel Engine by Using Waste Chicken Fat Biodiesel. **IOP Publishing**, v. 378, n.1, p. 012012, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/376/1/012012/pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

LARA, Túlio Silva. **Biofortificação agrônômica com selênio e alterações metabólicas em trigo**. 2016. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/11402/1/TESE_Biofortifica%C3%A7%C3%

A3o%20agron%C3%B4mica%20com%20sel%C3%AAnio%20e%20altera%C3%A7%C3%B5es%20metab%C3%B3licas%20em%20trigo.pdf. Acesso em: 17 fev. 2022.

LIMA, G. S.; DIAS, A. S.; LAURIANE, A. D. A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SILVA, A. A. R. Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 214-225, 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/17046>. Acesso em: 15 fev. 2022.

LIMA, B. R.; OLIVEIRA, E. P.; DONATO JÚNIOR, E. P.; BEBÉ, F. V. Uso e qualidade de água subterrânea utilizada por agricultores familiares no Território Sertão Produtivo, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 679-689, 2020. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v7n16/v07n16a15a.html>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, P. M. D.; ALVARENGA, A. A. D.; ANDRADE, M. J. B. D.; PASSOS, A. M. A. D. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 698-704, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/tXZPYkyF8k43JQtKn4kMB6B/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MATTOS, J. P. O. de; BERGER, M.; BERNARDY, D.; ALVES, J. da S; SASSO, V. M.; TABALDI, L. A. Respostas bioquímicas de *Schinus terebinthifolius* Raddi submetidas aos elementos alumínio, silício e selênio. In: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 10., 2019. Rio Grande do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/100872>. Acesso em: 7 fev. 2022.

MIKKELSEN, R. Selenium: essential for animals, not for plants. *Better Crops with Plant Food*, **Atlanta**, v. 97, n°. 3, p. 14, 2013. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133315419>. Acesso em: 15 fev. 2022.

NÓBREGA, J. S.; LOPES, K. P.; DOS SANTOS, J. B.; DA SILVA PAIVA, F. J.; DA SILVA, J. G.; DE LIMA, G. S. Qualidade de sementes de gergelim produzidas sob níveis de salinidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 3, p. 280-286, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/52615>. Acesso em: 15 fev. 2022.

OLIVEIRA, V. C. D.; FAQUIN, V., GUIMARÃES, K. C.; ANDRADE, F. R.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 138-147, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/9R6MCpBWCwGzjRG57ZVPgfv/?lang=en&format=html>. Acesso em: 15 fev. 2022.

PILISSAO, L.; ANJOS, R. M. R. dos, SALGUEIRO, W.; AVILA, D. S de. Avaliação do potencial toxicológico e farmacológico de compostos orgânicos de selênio em *C. Elegans*. In: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 9., 2020. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/97962>. Acesso em: 19 fev. 2022.

REIS, A. R. dos; JÚNIOR, E. F.; MORAES, M. F.; MELO, S. P. de. Biofortificação agrônômica com selênio no brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas/agronomic biofortification of crops with selenium in brazil as a strategy to improve food quality. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 128-138, 2014. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/206>. Acesso em: 19 fev. 2022.

RIBEIRO, Raquel Rosa. **Intensidade da ferrugem tardia em framboeseira relacionada a estresse hídrico**. 2021. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-20042021-105409/en.php>. Acesso em: 19 fev. 2022.

RICHARDS, P. W. Notes on the bryophyte communities of lowland Tropical Rain Forest, with special reference to Moraballi Creek, British Guiana. **Vegetatio**, v. 5, n. 1, p. 319-328, 1954. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00299586>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ROSA, Vanessa do Rosário **Alterações fisiológicas induzidas pelo deficit hídrico no estádio reprodutivo da soja com reflexo sobre a produtividade**. 2017. 39 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11874>. Acesso em: 21 fev. 2022.

SANTOS, A.; PEIXOTO, C. P.; ALMEIDA, A. T.; SANTOS, J.; MACHADO, G. D. S. Tamanho ótimo de parcela para a cultura de girassol em três arranjos espaciais de plantas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 265-273, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/MsGWTvGYsbmdHhf4cDQgkQN/?lang=pt&stop=next&format=html>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SHAHID, E. M.; JAMAL, Y. Performance evaluation of a diesel engine using biodiesel. **Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 9, p. 68-75, 2016. Disponível em: http://111.68.102.14/ojs_old/index.php/pjeas/article/view/169. Acesso em: 19 fev. 2022.

SILVA, Dayane Mércia Ribeiro. **Cártamo, adubação potássica e deficiência hídrica**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/202124>. Acesso em: 19 fev. 2022.

SILVA, C. M. da; SOUZA, D. F. de; PEREIRA, J. D. A.; COELHO, E. L.; CARVALHO, C. Desempenho de genótipos de girassol para sistemas de colheita mecanizada. In: **Jornada Científica e Tecnológica do IFSULDEMINAS**, 9., 2017. Minas Gerais. Anais [...]. Minas Gerais: Simpósio de pós-graduação, 2017. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1076302/1/ClaudioIFSuldeminas.pdf>
 . Acesso em: 20 fev. 2022.

SILVA, Anselmo Ferreira da. **Eficiência fotossintética e proteção oxidativa em mudas de cajueiro anão submetidas ao estresse salino**. 2016. 93f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/2301>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SILVA, A. F.; DA SILVA, M. C. B. C. Agricultura no Nordeste Semiárido e os resíduos orgânicos aproveitáveis. **Revista Equador**, v. 5, n. 2, p. 102-119, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/4420>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SILVA, Marcelo Anselmo Oseas da. **Avaliação da influência do selênio e zinco no metabolismo do girassol por meio de um estudo metalômico**. 2012. 177 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/201432/avaliacao-da-influencia-do-selenio-e-zinco-no-metabolismo-do>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SILVEIRA, J. A.; SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, v. 1, p. 161-18, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259481450_Mecanismos_biomoleculares_envolvidos_com_a_resistencia_ao_estresse_salino_em_plantas. Acesso em: 20 mar. 2022.

SOUSA, R. F.; SOUSA, J. A. Metabólicos secundários associados a estresse hídrico e suas funções nos tecidos vegetais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 01-08, 2017. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/5008>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SOUZA, Ednaldo de Santana. **Influência da degradação de óleos vegetais no processo de produção de biodiesel**. 2019. 156 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/34351>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SOUZA, V. F. de O. Componentes, efeitos e mecanismos de adaptação no cultivo de meloeiro sob estresse salino. **Meio Ambiente** (Brasil), v. 2, n. 2, 2020. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/42>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SQUISSATO, André Luiz. **Avaliação da polpa kraft de celulose na purificação de biodiesel de girassol**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. Disponível em: <http://clyde.dr.ufu.br/handle/123456789/17444>. Acesso em: 20 mar. 2022.

THEODORO, P.; ARROYO, P.; SILVA, E. A. da; Raia, R. Z. Produção de biodiesel a partir do óleo de crambe, via catalise heterogênea. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2015. Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Blucher Chemical Engineering Proceedings, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/produo-de-biodiesel-a-partir-do-leo-de-crambe-via-catalise-heterognea-17948>. Acesso em: 20 mar. 2022.

VIARO, R. S.; VIARO, M. S.; FLECK, J. A importância bioquímica do selênio para o organismo humano. **Disciplinarum Scientia Saúde**, v. 2, n. 1, p. 17-21, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumS/article/view/791>. Acesso em: 19 mar. 2022.

WASILEWSKI, Anderson. **Viabilidade econômica e desempenho de um trator agrícola utilizando biocombustível extraído do óleo de girassol**. 2016. 77p. Dissertação (Mestrado Profissional de Agroecologia). Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/1088>. Acesso em: 21 mar. 2022.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Investigar o efeito da aplicação de diferentes doses e modo de aplicação (no substrato ou por pulverização foliar) de fontes de selênio nas respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de girassol submetidas ao estresse hídrico ou salino.

4.2. Objetivos específicos

Em plantas de girassol suplementadas com selenito ou selenato de sódio no substrato ou por pulverização foliar:

- Avaliar variáveis de crescimento (produção de matéria fresca e seca; altura da parte aérea, diâmetro do caule e número de folhas) e teores relativos de clorofila;
- Identificar a modalidade de aplicação de selênio mais eficiente sobre o crescimento das plantas;
- Identificar a concentração de Selênio que proporcionam maior crescimento de plantas;
- Avaliar os efeitos da aplicação de selênio e o possível efeito benéfico em plantas sob condições de restrição hídrica;
- Analisar os efeitos da aplicação de selênio e o possível efeito benéfico em plantas sob condições de estresse salino;
- Em plantas sob restrição hídrica determinar as atividades das enzimas antioxidativas;
- Em plantas sob estresse salino determinar as atividades das enzimas antioxidativas.

5. ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *campus* Maracanaú, Ceará na casa de vegetação do laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal. As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar BRS 323, foram disponibilizadas pela Embrapa Produtos e Mercado, Escritório Dourados – MS.

Foram realizados três experimentos independentes. O primeiro experimento deu origem a dois artigos, sendo eles:

- **“ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL SUPLEMENTADAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SELÊNIO NO SOLO”**. O artigo foi publicado como capítulo do livro Ciências agrárias: Diálogos em pesquisa, tecnologia e transformação, Volume 1, da editora e-Publicar.
- **“ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF SELENIUM APPLICATION ON LEAVES OR SUBSTRATE ON THE GROWTH OF SUNFLOWER PLANTS”**. O artigo foi aceito e aguarda publicação no Brazilian Journal of Animal and Environmental Research (BJAER).

O segundo experimento, deu origem ao artigo **“PLANT GROWTH AND ANTIOXIDATIVE ENZYMES IN SUNFLOWER SUPPLEMENTED WITH SELENIUM”** este que foi aprovado e aguarda publicação na revista canadense Journal of Agricultural Science.

O terceiro experimento originou o artigo **“SELÊNIO EM GIRASSOL SOB ESTRESSE E ATIVIDADE ENZIMÁTICA”**. Submetido à Revista de Ciências Agrárias da Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal.

Cada artigo contém no tópico “material e métodos” a descrição detalhada da metodologia executada em cada experimento. Os artigos encontram-se formatados conforme às normas de cada revista aos quais foram publicados ou submetidos.

EXPERIMENTO I

ARTIGO 1

(Artigo publicado no livro Ciências agrárias: Diálogos em pesquisa, tecnologia e transformação, Volume 1, editora e-Publicar, 2022)

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE GIRASSOL SUPLEMENTADAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SELÊNIO NO SOLO

RESUMO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura expressiva no território brasileiro com cerca de 59,6 mil hectares no ano de 2020. No mesmo ano a produtividade em grãos estimada dessa cultura foi de 1.580 kg ha⁻¹. O girassol pertence à família Compositae e possui incidência em todo o território mundial devido suas características agrônômicas que facilitam sua aclimação. O cultivo de girassol é atrativo devido ao bom rendimento de seu óleo, este que pode ser utilizado na alimentação humana e animal, como planta ornamental e na produção de biocombustível. Acredita-se que o selênio pode aumentar a produtividade dos plantios. O selênio (Se) é um micronutriente atuante no sistema antioxidativo das plantas, aumentando a tolerância aos estresses bióticos e abióticos. O objetivo desse trabalho foi testar diferentes concentrações de selenato e selenito de sódio adicionadas ao substrato no cultivo de plantas de girassol avaliando a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA). O experimento foi realizado no período de 01 a 19 de julho de 2021 na casa de vegetação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *campus* Maracanaú. O delineamento experimental foi dividido em vasos de 5L com 9 tratamentos que continham 5 repetições em cada. Em cada vaso foi adicionado como substrato areia e húmus de minhoca na proporção 4:1 (volume de areia: volume de húmus) e as seguintes concentrações de Se: 0,0 g L⁻¹ (tratamento controle); 0,0008 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0008 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenito de sódio. Aos 19 dias após a semeadura realizou-se a coleta e o material foi posto em estufa de circulação forçada a 50°C até obtenção de massa constante. Posteriormente, foi pesado em balança analítica, obtendo-se assim a matéria seca da parte aérea. A adição de selênio nas concentrações testadas se equiparou ao tratamento controle. Visualmente as plantas não apresentaram efeitos de fitotoxicidade. Os tratamentos contendo 0,0008g L⁻¹ de selenato de sódio, 0,0008g L⁻¹, 0,0033g L⁻¹, 0,0067 g L⁻¹ de selenito de sódio e o grupo controle não divergiram estatisticamente entre si. O valor médio obtido para essas concentrações foi de 0,256 g planta⁻¹. Estudos adicionais devem ser feitos de forma a verificar o desempenho do selênio em culturas submetidas aos estresses hídrico e salino. Sugere-se a avaliação de enzimas antioxidativas para que seja feita a relação entre as dosagens de selênio e o incremento no sistema antioxidativo dos cultivos.

PALAVRAS CHAVE: selênio; girassol; crescimento vegetal.

INTRODUÇÃO

No ano de 2020 estimou-se que a cada mil hectares cultivados, 59,6 correspondiam à cultura do girassol no território brasileiro. No mesmo ano, a produtividade em grãos estimada dessa cultura foi de 1.580 kg ha⁻¹. Quando comparada com outras oleaginosas como a mamona, percebe-se que é mais vantajosa em termos de

produtividade do grão, sendo uma produção, em média, 243% maior (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) pertence à família Compositae e possui incidência em todo o território mundial devido às suas características agronômicas que facilitam a aclimação. É uma planta dicotiledônea anual, seu ciclo de vida varia entre 90 e 130 dias a depender das condições da área a qual foi semeada. Estruturalmente seu caule não é ramificado e sua inflorescência é do tipo capítulo, onde ficam localizados os grãos, que são denominados aquênios. Apresenta sistema radicular do tipo pivotante com ramificações, geralmente extenso, o que favorece a captação de nutrientes no solo (CASTRO et al., 1996).

O cultivo de girassol é atrativo devido ao bom rendimento de seu óleo, que pode ser utilizado na alimentação humana e animal, além da produção de biocombustível (PEREIRA et al, 2016; MEDEIROS; LUZ, 2021). O biodiesel é um biocombustível que pode ser produzido por meio do óleo de girassol, com um rendimento de 280 a 700 kg para cada hectare de girassol plantado (SOUZA, 2019).

Acredita-se que o selênio (Se) pode aumentar a produtividade dos plantios. O Se é um micronutriente atuante no sistema antioxidativo das plantas, aumentando a tolerância aos estresses bióticos e abióticos. Esse efeito pode ser alcançado com as concentrações de Se adequadas para cada cultivo, valores elevados tendem à toxicidade (PRAUCHNER, 2014; MATTOS et al., 2019).

O Se pode ser encontrado nas formas de selenato, selenito, seleneto, orgânico e elementar. As formas de bioacumulação das plantas mais amplamente conhecidas são as do selenato de sódio e o selenito de sódio. A depender do tipo sua forma de translocação e absorção é diferente. Acredita-se que o selenato de sódio é diretamente absorvido na raiz e levado para a parte aérea, pois possui alta afinidade com cadeia transportadora de sulfato. Já o selenito de sódio tem maior acúmulo na raiz, sendo transformado em selenoaminoácidos (NASCIMENTO, 2018).

Sabendo da importância de maximizar o uso de insumos para produções agrícolas energeticamente eficientes, o uso de selênio como aditivo aos cultivos pode ser uma alternativa para aumentar o rendimento das lavouras. O objetivo desse trabalho foi testar diferentes concentrações de selenato e selenito de sódio adicionadas aos

substratos no cultivo de plantas de girassol avaliando a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA).

METODOLOGIA

O experimento foi realizado no período de 01 a 19 de julho de 2021 na casa de vegetação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *campus* Maracanaú. A espécie cultivada foi o girassol, as sementes do cultivar BRS 323 foram cedidas pela Embrapa Produtos e Mercado. Em cada vaso de 5 L adicionou-se areia e húmus de minhoca na proporção 4:1 (volume de areia: volume de húmus) e as seguintes concentrações de Se: 0,0 g L⁻¹ (tratamento controle); 0,0008 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0008 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenito de sódio.

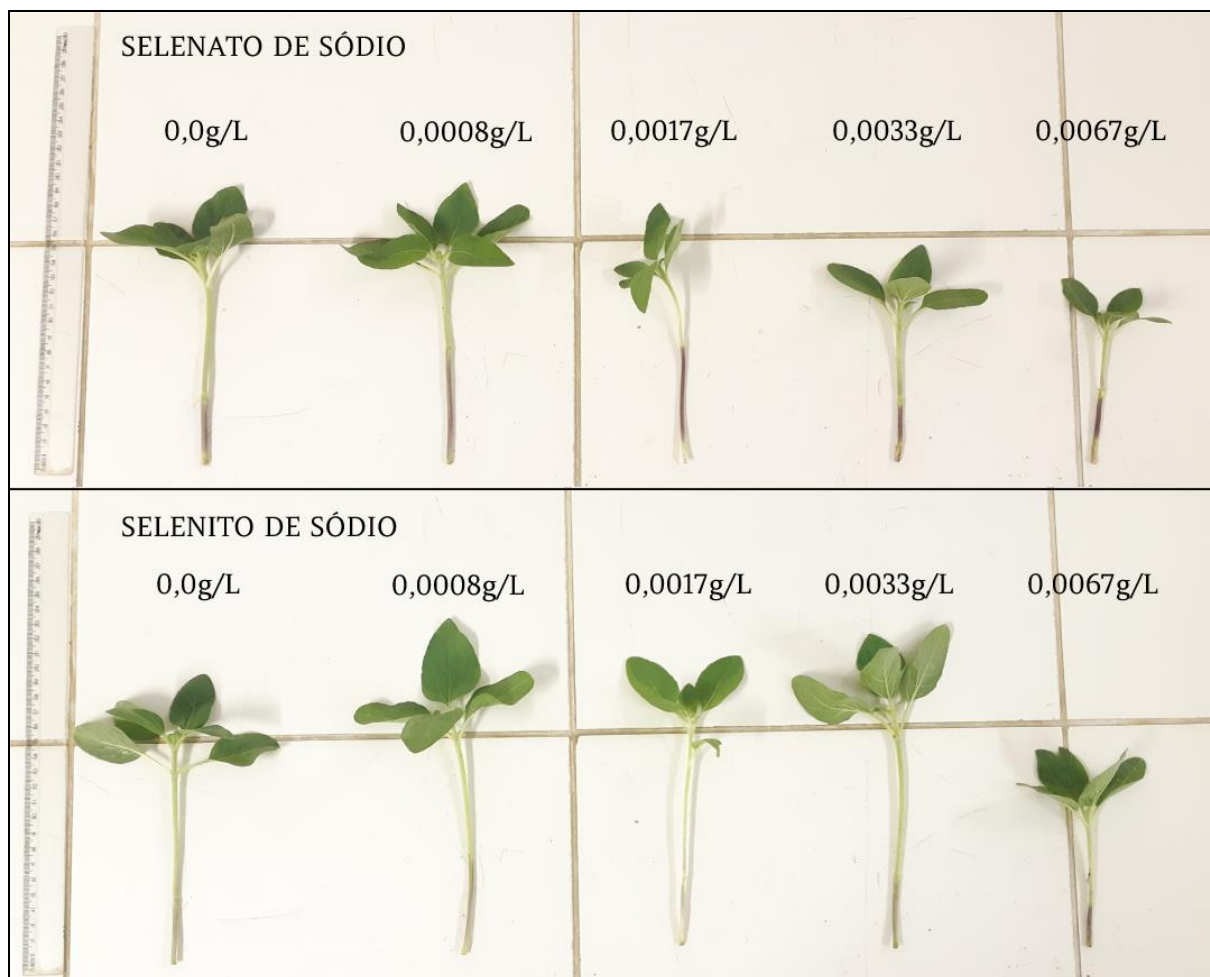
As concentrações de Se foram adicionadas em única parcela no início do experimento. As regas foram feitas a 80% da capacidade de campo e aos 19 dias após a semeadura (DAS) foi realizada a coleta para posterior análise.

Após coleta, as plantas de girassol de cada tratamento foram separadas em folhas + caules (parte aérea) e alocadas em sacos de papel, sendo colocada uma planta/repetição em um total de 5 repetições por tratamento.. O material foi posto em estufa de circulação forçada a 50°C até obtenção de massa constante. Posteriormente, pesou-se em balança analítica, obtendo-se assim a matéria seca da parte aérea (MSPA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de selênio nas concentrações testadas se equiparou ao tratamento controle. Visualmente as plantas não apresentaram efeitos de fitotoxicidade (Figura 1), tais como folhagem amarelada. No estudo de Nasser (2015) ao cultivar batata, as plantas com dosagens pulverizadas de selênio apresentaram efeitos deletérios e, aquelas cuja aplicação foi no solo, não obteve efeitos tóxicos. Sabe-se que dosagens elevadas tendem a aumentar a lipoperoxidação, comprometendo o perfeito crescimento vegetal (PARO et al., 2018).

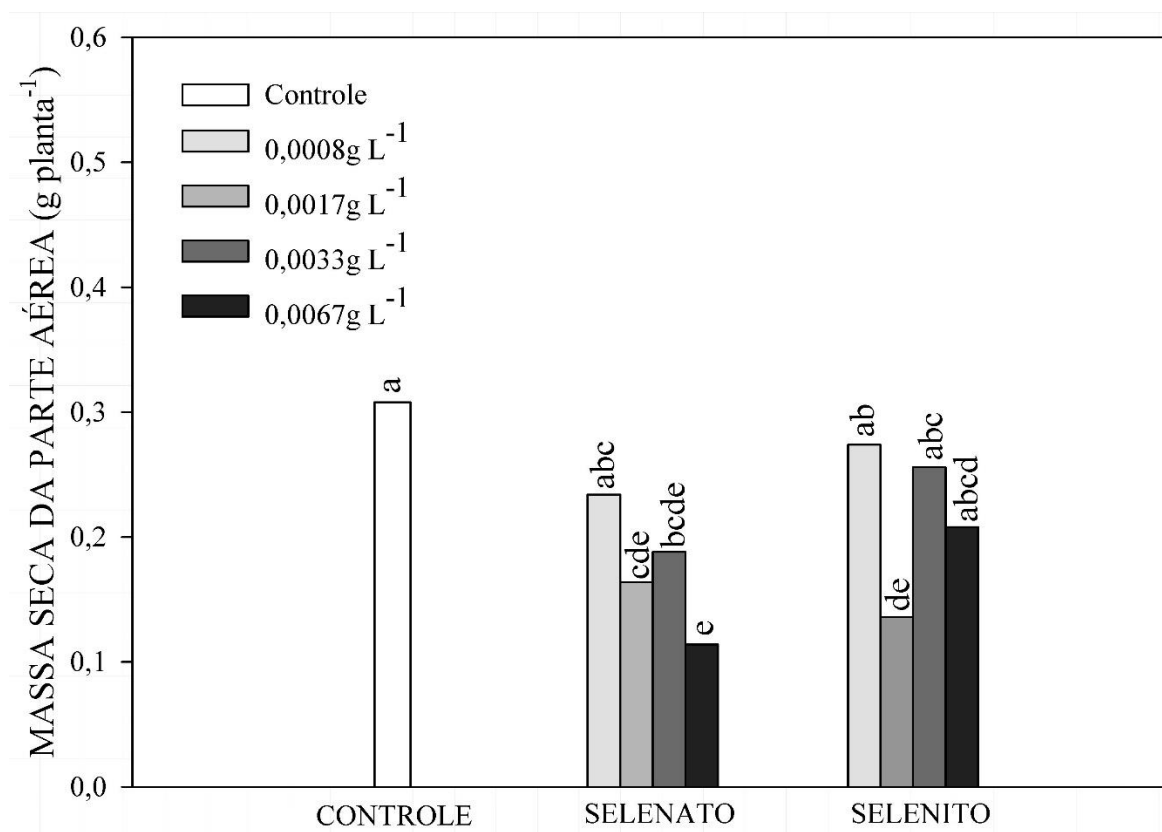
Figura 1 – Plantas de girassol aos 19 dias após a semeadura (DAS) cultivadas com selênio no substrato nas dosagens de $0,0 \text{ g L}^{-1}$ (tratamento controle); $0,0008 \text{ g L}^{-1}$ de selenato de sódio; $0,0017 \text{ g L}^{-1}$ de selenato de sódio; $0,0033 \text{ g L}^{-1}$ de selenato de sódio; $0,0067 \text{ g L}^{-1}$ de selenato de sódio; $0,0008 \text{ g L}^{-1}$ de selenito de sódio; $0,0017 \text{ g L}^{-1}$ de selenito de sódio; $0,0033 \text{ g L}^{-1}$ de selenito de sódio; $0,0067 \text{ g L}^{-1}$ de selenito de sódio.



Fonte: autores, 2021.

Os tratamentos contendo $0,0008 \text{ g L}^{-1}$ de selenato de sódio, $0,0008 \text{ g L}^{-1}$, $0,0033 \text{ g L}^{-1}$, $0,0067 \text{ g L}^{-1}$ de selenito de sódio e o grupo controle não divergiram estatisticamente entre si (Figura 2). O valor médio obtido para essas concentrações foi de $0,256 \text{ g planta}^{-1}$. A variável matéria seca permite que medir a mobilidade dos nutrientes, sendo um processo de translocação de fotoassimilados (BORGES et al., 2012).

Figura 2 – Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de girassol aos 19 DAS cultivadas com selênio no substrato nas dosagens de 0,0 g L⁻¹ (tratamento controle); 0,0008 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenato de sódio; 0,0008 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0017 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0033 g L⁻¹ de selenito de sódio; 0,0067 g L⁻¹ de selenito de sódio.



Fonte: autores, 2021

O selênio é um micronutriente que não é constituinte básico dentre os nutrientes essenciais aos cultivos, sendo denominado de elemento traço. Sua atuação está diretamente associada ao sistema antioxidativo, estando ligado à produção de selenoenzimas e selenoproteínas (OLIVEIRA et al, 2018).

A concentração de selênio pode estimular a planta no aumento da atividade da glutathione peroxidase, que é uma enzima que protege os tecidos ao eliminar hidroperóxidos, e, com isso, induzir a diminuição da peroxidação lipídica da membrana (PRAUCHNER, 2014). Em condições de estresse abiótico, o efeito pode ser expressivo na perda de produtividade de um cultivo. Astaneh et al. (2017) concluiu em suas pesquisas a influência do selênio no equilíbrio hídrico e preservação da membrana celular em cultivo de alho.

CONCLUSÃO

As concentrações contendo 0,0008g L⁻¹ de selenato de sódio, 0,0008g L⁻¹, 0,0033g L⁻¹, 0,0067 g L⁻¹ de selenito de sódio não apresentaram efeitos tóxicos quando comparadas ao tratamento controle, equiparando-se estatisticamente na variável MSPA.

Estudos adicionais devem ser feitos de forma a verificar o desempenho do selênio em culturas submetidas aos estresses hídrico e salino. Sugere-se a avaliação das atividades das enzimas antioxidativas, para que seja feita a relação entre as dosagens de selênio e o incremento no sistema antioxidativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTANEH, R. K.; BOLANDNAZAR, S.; NAHANDI, F. Z.; OUSTAN, S. The effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. **Information processing in agriculture**, v. 5, n. 1, p. 156-161, 2018.

BORGES, P. R. S.; SABOYA, R. D. C. C.; SABOYA, L. M. F.; DOS SANTOS, E. R.; DE SOUZA, S. E. A. Distribuição de massa seca e rendimento de feijão-caupi inoculadas com rizóbio em Gurupi, TO. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 37-44, 2012.

CASTRO, C. de; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; LEITE, P.M.V.B. de C.; KAIRAM, D.; MELLO, H.C.; GUEDES, L.C.A.; FARIAS, J.R.B. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Sétimo levantamento**. Brasília: Conab, 2020.

NASSER, V. G. **Biofortificação da cultura da batata com selênio**. 2015. 19f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba. 2015.

NASCIMENTO, C. S. **Biofortificação agrônômica da rúcula com selênio em sistema hidropônico**. 2018. 43f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

MATTOS, J. P. O. de; BERGER, M.; BERNARDY, D.; ALVES, J. da S; SASSO, V. M.; TABALDI, L. A. Respostas bioquímicas de *Schinus terebinthifolius* Raddi submetidas aos elementos alumínio, silício e selênio. In: **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2019.

OLIVEIRA, V. C. D.; FAQUIN, V., GUIMARÃES, K. C.; ANDRADE, F. R.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 138-147, 2018.

PARO, J. V.; BOLETA, E. H. M.; LAWANDOVSKI, R.; DOS REIS, A. R. Componentes produtivos e fotossintéticos do arroz em resposta á altas doses de selênio via foliar. In: **II Encontro Paulista de Ciências do Solo**. 2018.

PEREIRA, D. R. M.; DE GODOY, M. M.; SAMPAIO, C. C.; SILVA, T. V.; FELIX, M. J. D.; DE OLIVEIRA, R. L. R. Uso do girassol (*Helianthus annuus*) na alimentação animal: aspectos produtivos e nutricionais. **Veterinária e Zootecnia**, v. 23, n. 2, p. 174-183, 2016.

PRAUCHNER, C. A. **A importância do selênio para a agropecuária e saúde humana**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2014.

SOUZA, E. de S. **Influência da degradação de óleos vegetais no processo de produção de biodiesel**. 2019. 156 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

ARTIGO 2

(Artigo aceito e aguardando publicação na revista Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 2022)

Assessment of the effects of selenium application on leaves or substrate on the growth of sunflower plants

Avaliação dos efeitos da aplicação de selênio nas folhas ou no substrato sobre o crescimento de plantas de girassol

ABSTRACT

Though Selenium (Se) is a nonessential micronutrient to plants, its presence under appropriate concentrations helps in the plant antioxidant system, thus benefiting crop growth and productivity. Considering the need for acclimatization of crops due to climate changes and the need for diversification of the energy matrix, this study aimed to assess the different concentrations and forms of application of selenium (sodium selenite and sodium selenate) suitable for the cultivation of sunflower plants through growth analysis (height, diameter and number of leaves) and relative chlorophyll contents. The experimental design was completely randomized, and consisted of 18 treatments with 5 replications each, with applications of selenium in the substrate or by leaf spraying. All 18 treatments were independently assessed. Analysis of variance was performed and means were independently compared using the Tukey test ($P \leq 0.05$) in the AgroEstat program. Sunflower plants supplemented with 0.8 mg L^{-1} of sodium selenite in the substrate presented values higher than those of the other treatments for plant height variable. For relative contents of chlorophyll, concentrations of 0.8 mg L^{-1} and 1.7 mg L^{-1} of selenate in the substrate and 3.3 mg L^{-1} of selenite in the substrate stood out. For the other variables, treatments containing selenium were equivalent to the control. It was concluded that the treatments whose application was directly made on the substrate showed higher values than those that received foliar application.

Keywords: Biofuel. Sunflower. Selenium.

RESUMO

O selênio (Se) é um micronutriente não essencial às plantas, que quando presente em concentrações adequadas auxilia no sistema antioxidante vegetal, beneficiando assim o crescimento e a produtividade das culturas. Sabendo da necessidade de aclimação dos cultivos às mudanças climáticas e da necessidade de diversificação da matriz energética, este estudo objetivou avaliar as diferentes concentrações e formas de aplicação de selênio (selenito e selenato de sódio) adequadas ao cultivo de plantas de girassol através de análises de crescimento (altura, diâmetro e número de folhas) e teores relativos de clorofila. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por 18 tratamentos com 5 repetições cada com aplicações de selênio no substrato ou por pulverização foliar. Todos os 18 tratamentos foram avaliados de forma independente. Realizou-se análise de variância e as médias foram comparadas independentemente pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) no programa AgroEstat. As plantas de girassol suplementadas com $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio no substrato obtiveram valores superiores aos demais tratamentos para a variável altura da planta. Para os teores relativos de clorofila as concentrações de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ e $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ de selenato no substrato e $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito no substrato se sobressaíram. Nas demais variáveis, os tratamentos contendo

selênio se equipararam ao controle. Concluindo que os tratamentos cuja aplicação foi diretamente no substrato mostraram maiores valores do que os que receberam aplicação foliar.

Palavras-chave: Biocombustível. Girassol. Selênio.

1 INTRODUCTION

The search for diversification of the Brazilian energy matrix has contributed to advances in technologies for the production of biofuels, less dependence on foreign oil, more jobs and more sustainable production chains (QUEIROZ et al., 2021). Within this matrix, biodiesel has been produced using vegetable or animal fat. Among the vegetables used, soybean, castor bean, canola, palm oil and sunflower stand out (FERREIRA et al., 2018).

Sunflower (*Helianthus annus* L.) is an annual crop oilseed. It is used in cultivation between crops in a large part of the Brazilian territory, as it tolerates moderate climatic variations. Among its main uses are animal feed and biodiesel production (MOURA et al., 2017).

The northeast of Brazil is a region historically affected by irregular rains and degraded soils, and these phenomena have a significant influence on agriculture. Climate changes give the region a prospect of increased temperatures and irregular rainfall. This scenario reinforces the need of strategies for crops that improve their acclimatization, reinforcing the capacity of the plantations' defense system (CARLOS et al., 2019).

Selenium (Se) is a nonessential micronutrient to plants, however, when present in appropriate concentrations, helps in the plant antioxidant system, thus benefiting crop growth and productivity. The forms of selenium that can be bioaccumulated by vegetables are selenate and selenite. In tropical and subtropical regions, selenate tends to be more available to plants in the soil, because selenite has a strong interaction with the clay portion of the soils becoming more aggregated to the soil (OLIVEIRA et al., 2018).

The concentration of selenium in the soil can have beneficial or toxic characteristics for plants. High concentrations of this element cause the plant to substitute sulfur for Se in amino acids cysteine and methionine, thus causing stress to the crop (FERREIRA et al., 2020). Shahraki et al. (2022), when carrying out tests with

selenium in plants of *Calendula officinalis* L., found improvements in the development of flowers and leaves of the species.

It is believed that selenium can act as a mitigator of abiotic stresses through its antioxidant properties. Considering the need for acclimatization of crops due to climate changes, and the need for diversification of the energy matrix, this study aimed to assess the different concentrations and forms of application of selenium (selenite and selenate) suitable for the cultivation of sunflower plants through growth analysis (height, diameter and number of leaves) and relative chlorophyll contents.

2 METHODOLOGY

The experiment was carried out in July 2021 under greenhouse conditions at Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) located in the municipality of Maracanaú-CE, Brazil.

Selenium was applied as sodium selenate (Na_2SeO_4 , molecular weight $188.94 \text{ g mol}^{-1}$) and sodium selenite (Na_2SeO_3 , molecular weight $172.94 \text{ g mol}^{-1}$) in two application modes: 1) directly in the substrate on the day of sowing; 2) spraying on leaves 12 days after sowing (DAS). The selection of concentrations used was based on the studies by Boldrin et al. (2012) and Subramanyam et al. (2019). Sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) of cultivar BRS 323, provided by EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Corporation), were used.

The seeds were sown in 5 L pots containing sand and earthworm humus in a 4:1 ratio (sand volume: humus volume) with or without selenium, as shown in Figure 1. Watering was carried out daily at 80% of field capacity per means of replacing evapotranspiration water.

The experimental design (Figure 1) was completely randomized, consisting of 18 treatments with 5 repetitions each with applications of selenium in the substrate or by leaf spraying. Applied to the substrate: 1) sand + humus; 2) 0.8 mg L^{-1} of Na_2SeO_4 + sand + humus; 3) 1.7 mg L^{-1} of Na_2SeO_4 + sand + humus; 4) 3.3 mg L^{-1} of Na_2SeO_4 + sand + humus; 5) 6.7 mg L^{-1} of Na_2SeO_4 + sand + humus; 6) 0.8 mg L^{-1} of Na_2SeO_3 + sand + humus; 7) 1.7 mg L^{-1} of Na_2SeO_3 + sand + humus; 8) 3.3 mg L^{-1} of Na_2SeO_3 + sand + humus; 9) 6.7 mg L^{-1} of Na_2SeO_3 + sand + humus; Applied by leaf spraying: 10) sand + humus + 0.025% Tween 20 detergent; 11) 20 mg L^{-1} Na_2SeO_4 + sand + humus + 0.025% Tween 20 detergent; 12) 40 mg L^{-1} Na_2SeO_4 + sand + humus + 0.025% Tween 20 detergent; 13) 80 mg L^{-1} Na_2SeO_4 + sand + humus + 0.025% Tween 20 detergent; 14)

120 mg L⁻¹ Na₂SeO₄+ sand+ humus + 0.025% Tween 20 detergent; 15) 20 mg L⁻¹ Na₂SeO₃+ sand+ humus + 0.025% Tween 20 detergent; 16) 40 mg L⁻¹ Na₂SeO₃+ sand+ humus + 0.025% Tween 20 detergent; 17) 80 mg L⁻¹ Na₂SeO₃+ sand + humus + 0.025% Tween 20 detergent; 18) 120 mg L⁻¹ Na₂SeO₃+ sand + humus + 0.025% Tween 20 detergent.

Figure 1. Selenium application modalities and concentrations employed.

	Control (mg L ⁻¹)	Sodium selenate (mg L ⁻¹)	Sodium selenite (mg L ⁻¹)
Applied to the substrate	0.0	0.8	0.8
		1.7	1.7
		3.3	3.3
		6.7	6.7
Applied by leaf spraying	0.0	20	20
		40	40
		80	80
		120	120

For treatments with foliar application of selenium, detergent Tween 20 at 0.025% was added to the aqueous solutions to reduce surface tension and facilitate penetration. Leaf spraying took place using a manual spray pump, at 6 am to avoid losses due to evapotranspiration. 15 mL of solution were applied per plant. Plants sprayed with distilled water containing 0.025% Tween 20 detergent were used as a control group.

Analyses of biometric variables (height, diameter and number of leaves) and relative chlorophyll contents were performed. Growth assessments were made at 19 days after sowing (DAS). The diameter was measured using a digital caliper. The height of the aerial part was measured using a graduated ruler from ground level to the apical bud. The number of leaves was obtained from counting directly on each plant. The

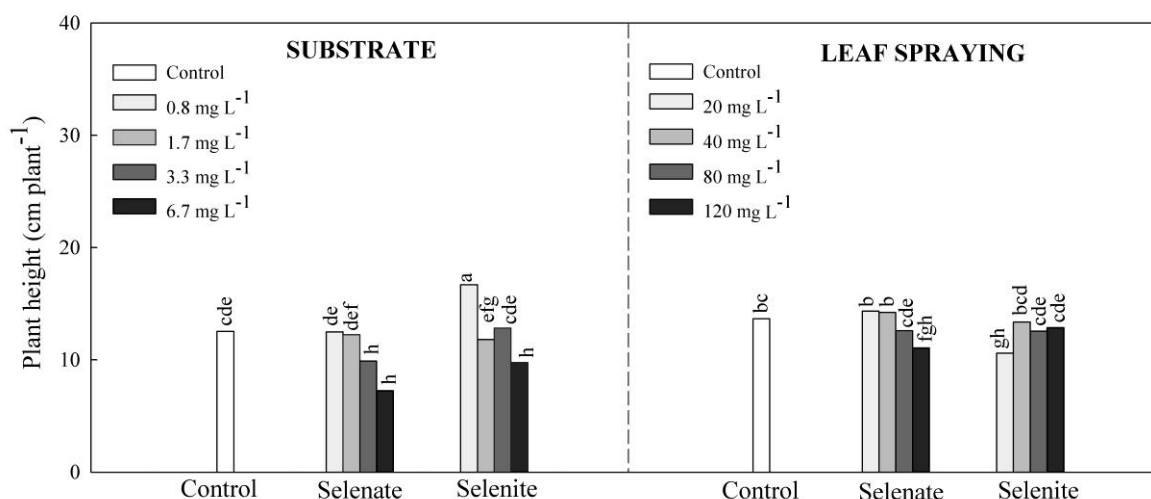
relative chlorophyll contents were determined in the first fully expanded leaf, counting from the apex with the aid of a portable meter (model Minolta SPAD – 502).

All 18 treatments were independently assessed. Analysis of variance was performed and average were independently compared using Tukey's test ($P \leq 0.05$) in the AgroEstat program. The graphics were produced in Sigma Plot 11.0 program.

3 RESULTS AND DISCUSSION

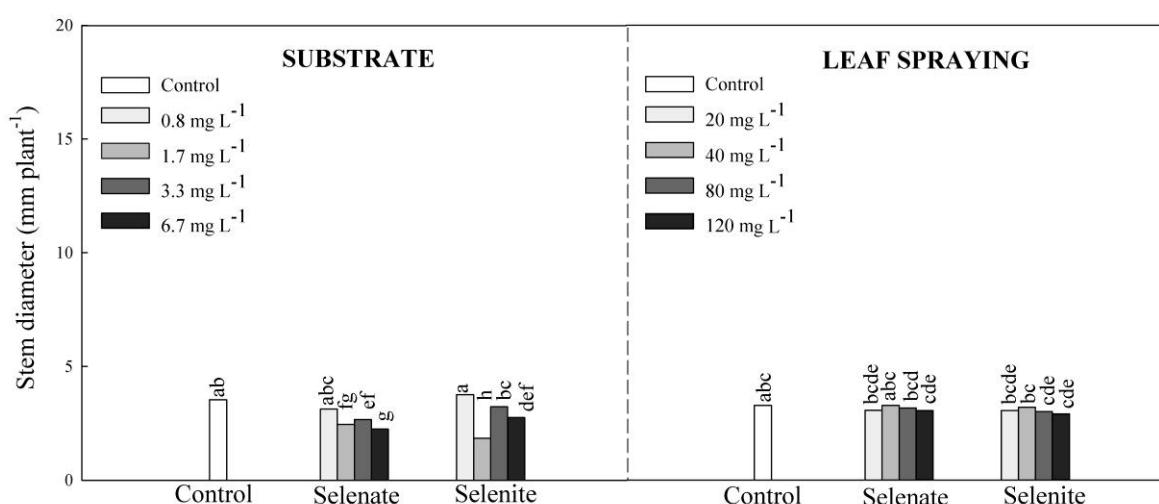
Plants added with selenite in the substrate at 0.8 mg L^{-1} presented values higher than those of the other treatments for height variable (Figure 2). Those treatments that received concentrations of 0.8 mg L^{-1} of selenite in the substrate obtained an average value of 16 cm plant^{-1} , which represents an increase of 20% compared to the average of the treatments spray control, 20 mg L^{-1} , spray selenate, 40 mg L^{-1} , and spray selenite, 40 mg L^{-1} . It is believed the difference between the concentrations comes from the concentration and form of application of selenium, since it implies efficiency or toxicity in plants. High doses of selenium are harmful, but in appropriate amounts they can act on the antioxidant system by decreasing reactive oxygen species (FERREIRA et al., 2020). Subramanyam et al. (2019) performed the analysis of antioxidant enzymes in rice plants subjected to salt stress added with doses of selenium. The authors concluded that the application of selenium mitigated the effects of salinity.

Figure 2. Plant height of *Helianthus annuus* L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying. The bars represent the mean values of five replicates. Values followed by distinct letters represent statistically significant differences between treatments, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).



For stem diameter (Figure 3), the treatments with application to the substrate: control, 0.8 mg L⁻¹ of selenate, 0.8 mg L⁻¹ of selenite and with leaf spraying application, control and 40 mg L⁻¹ of selenate, did not differ statistically from each other, with an average value of 3.37 mm plant⁻¹. In the stem diameter parameter, values close were found by Brito et al. (2020), when cultivating sunflower supplemented with upland algae, with the average of the best treatment of 3.4 mm plant⁻¹. Moreira et al. (2019), when cultivating sunflower with industrial residue of mineral supplement at 20 DAS, also found an average around 3 mm plant⁻¹ in the most efficient treatments.

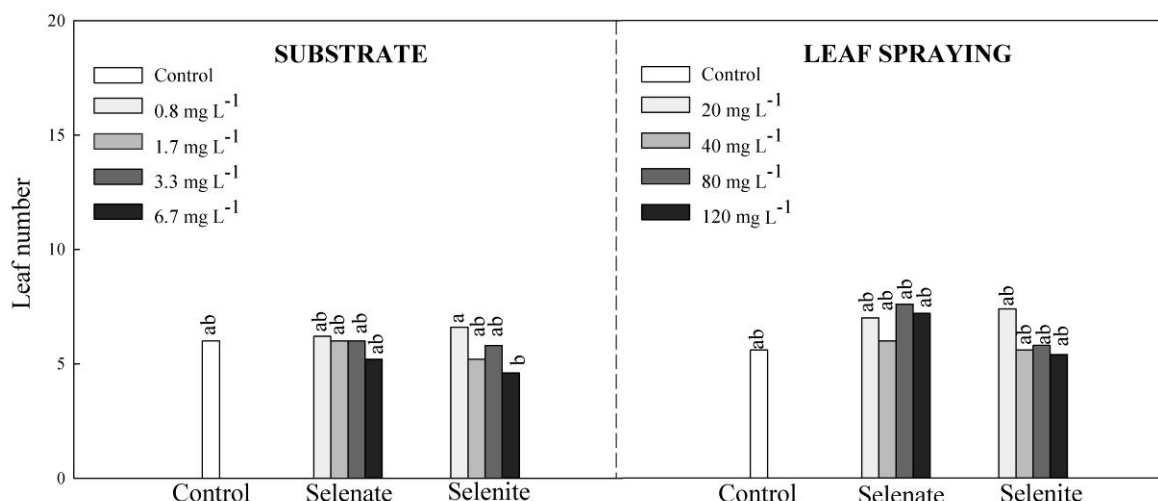
Figure 3. Stem diameter of *Helianthus annuus* L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying. The bars represent the mean values of five replicates. Values followed by distinct letters represent statistically significant differences between treatments, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).



The values referring to the number of leaves (Figure 4), for the most part, did not differ statistically from each other. However, the 0.8 mg L⁻¹ treatment of selenite in the substrate was superior to the treatment 6.7 mg L⁻¹ of selenite in the substrate, with 19% increase, presenting an average value of 5 leaves plant⁻¹. It was observed, through visual assessment of the leaves, that selenium did not cause phytotoxic visual effects to the plants. This positive effect coincides with what is indicated by Palencia et al. (2016), who tested selenium to cultivate strawberry, and while evaluating the variable number

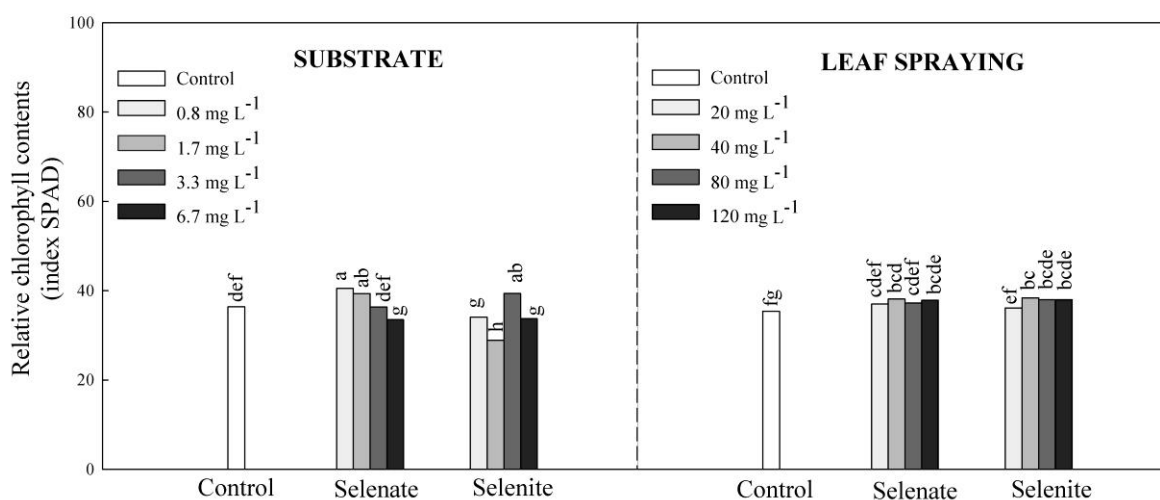
of leaves, the plants containing selenium stood out by 10% compared to those of the control treatment.

Figure 4. Leaf number of *Helianthus annuus* L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying. The bars represent the mean values of five replicates. Values followed by distinct letters represent statistically significant differences between treatments, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).



When analyzing the relative chlorophyll contents of (Figure 5), the concentrations added to the substrates - 0.8 mg L^{-1} and 1.7 mg L^{-1} of selenate and 3.3 mg L^{-1} of selenite - did not show statistical differences and were superior to those of the other groups, with average SPAD index value of 39.7. When such treatments are compared to those of the smallest group, with 1.7 mg L^{-1} of selenite added to the substrate, there is an increase of 37%. Astaneh et al. (2018), when it evaluated the relative chlorophyll contents also found higher values for the treatment incremented with selenate in the garlic crop. Brito et al. (2020) supplemented sunflower cultivars with uplifted algae and obtained, in their best treatment, the value of 35 (SPAD index) when evaluating the relative chlorophyll contents. Chlorophyll is an important pigment that acts on the chloroplast of plants, capturing light to carry out photosynthesis. The higher the index obtained through the relative chlorophyll contents, the greater the capacity of the sheet to absorb light (MAIA JÚNIOR et al., 2017).

Figure 5. Relative chlorophyll contents of *Helianthus annuus* L. at 19 DAS with application of selenite or sodium selenate at different concentrations through the substrate or by leaf spraying. The bars represent the mean values of five replicates. Values followed by distinct letters represent statistically significant differences between treatments, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).



Appropriate doses and forms of application of selenium in plants can influence nitrogen absorption and promote the synthesis of proteins that provide greater plant growth (AL-KAZZAZ, 2018). Chlorophyll contents correlate with nitrogen concentrations, as from 50% to 70% of the nitrogen present in the leaves is contained in the chloroplast (ARGENTA et al., 2001).

It is believed that due to the controlled conditions of the experiment and the inexistence of biotic or abiotic stress, the positive effect of selenium was evident only in some treatments and in a few variables analyzed when compared to plants under control conditions (absence of selenium). Selenium can act in the defense mechanism of plants, specifically when plants are subjected to stress (BARBOSA et al. 2014; FERREIRA et al. 2020). Antioxidative enzymes are associated with an increase in reactive oxygen species due to biotic and abiotic stresses (NUNES et al., 2017).

4 CONCLUSION

Sunflower plants supplemented with 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite in the substrate presented values higher than those of the other treatments for the plant height variable. For the relative contents of chlorophyll, the concentrations of 0.8mg L⁻¹ and 1.7 mg L⁻¹ of selenate in the substrate and 3.3 mg L⁻¹ of selenite in the substrate stood

out. For the other variables, the treatments containing selenium were equivalent to the control.

Thus, in general, treatments whose application was directly on the substrate showed higher values than those that received foliar application. Thus, further studies are needed to define the ideal concentration of selenium for sunflower plants. Furthermore, assessments under stress conditions and the effects on antioxidant enzymes are suggested.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

AL-KAZZAZ, A. G. M. Effect of salinity stress and selenium spraying on broad bean plant *Vicia faba* L. **Plant Archives**, v. 18, n. 2, p. 2335-2339, 2018.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. D.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 158-167, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200005>

ASTANEH, R. K.; BOLANDNAZAR, S.; NAHANDI, F. Z.; OUSTAN, S. The effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. **Information processing in agriculture**, v. 5, n. 1, p. 156-161, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.003>

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M.de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011>

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; CARVALHO, G. S.; COSTA, E. T. D. S. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 6, p. 831-837, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600014>

BRITO, P. O. B.; FERREIRA, G. D. S.; ADERALDO, F. Í. C.; BRAGA, J. D. A. F.; DE SOUZA, J. N.; GONDIM, F. A. Crescimento e teores relativos de clorofila em plantas de girassol suplementadas com algas mistas, *Hypnea pseudomusciformis* ou *Ulva fasciata*. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 533-537, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.9244>

CARLOS, S. D. M.; CUNHA, D. A. D.; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 455-471, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187600>

FERREIRA, R. L. D. C.; PRADO, R. D. M.; JUNIOR, J. P.D. S.; GRATÃO, P. L.; TEZOTTO, T.; CRUZ, F. J. R. Oxidative stress, nutritional disorders, and gas exchange in lettuce plants subjected to two selenium sources. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1215-1228, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00206-0>

FERREIRA, P. H.; DA SILVA, G. A. A.; ERVITE, L.; CASTRO, D. P. O Cenário da Produção de Biocombustível no Brasil. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias**, v. 3, n. 1, p. 89-102, 2018.

MAIA JÚNIOR, S. D. O.; DE ANDRADE, J. R.; DE SOUSA FERREIRA, R.; DE ARAÚJO, D. L.; GUERRA, H. O. C.; DA SILVA, F. G. Teores de pigmentos, fluorescência da clorofila a e índice SPAD em cultivares de girassol sob regimes hídricos. **Agrarian**, v. 10, n. 36, p. 105-112, 2017. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i36.3604>

MOREIRA, L. M.; MOURA, L. F.; DE ALMEIDA, F. B. B.; FILHO, R. A. P.; GONDIM, F. A. Efeitos de diferentes concentrações de resíduo industrial de suplemento mineral para animal sobre o crescimento de plantas de girassol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 1, p. 4, 2019. <https://doi.org/10.33240/rba.v14i1.22873>

MOURA, L. F.; TEIXEIRA, P. F. S.; GONDIM, F. A.; JUNIOR, F. H. N.; BARBOSA, R. M.; ARRUDA, J. F.; ALBIERO, D. Viability of biofertilizer produced by an Indian

biodigester prototype applied to sunflower plants. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 10, p. 253-264, 2017. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n10p253>

NUNES, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B. D.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 71-86, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1964>

OLIVEIRA, V. C. D.; FAQUIN, V., GUIMARÃES, K. C.; ANDRADE, F. R.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 138-147, 2018. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018422031217>

PALENCIA, P.; MARTINEZ, F.; BURDUCEA, M.; OLIVEIRA, J. A.; GIRALDE, I. Efectos del enriquecimiento con selenio en SPAD, calidad de la fruta y parámetros de crecimiento de plantas de fresa en un sistema de cultivo sin suelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 202-212, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-294/14>

QUEIROZ, I. R.; DA COSTA, A. S. V.; ALMEIDA, I. C.; BARROS, G. F.; ALVES, W. M.; DE SOUZA, M. C.; FERREIRA, A. C. O biocombustível no Brasil: potencialidades da cultura do *Crambe abyssinica* para produção de biodiesel. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e11510514618-e11510514618, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14618>

SHAHRAKI, B.; BAYAT, H.; AMINIFARD, M. H.; AZARMI ATA JAN, F. Effects of foliar application of selenium and nano-selenium on growth, flowering, and antioxidant activity of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 20, p. 2749-2765, 2022. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2089679>

SUBRAMANYAM, K.; DU LAING, G.; VAN DAMME, E. J. Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress

in rice. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 116, 2019.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00116>

EXPERIMENTO II

ARTIGO 3

(Artigo aceito e aguardando publicação na revista Journal of Agricultural Science,
2022)

Plant growth and antioxidative enzymes in sunflower supplemented with selenium

Abstract

The use of soil additives such as selenium can positively influence the antioxidative system of plants, making them more tolerant to abiotic stresses. The aim of this work was to evaluate the concentration of sodium selenite or sodium selenate applied to the substrate that causes improve in plant growth and antioxidative enzyme activities in sunflower plants. The treatments were divided in: control (absence of selenium); 0.2 mg L⁻¹ of sodium selenate; 0.4 mg L⁻¹ of sodium selenate; 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate; 0.2 mg L⁻¹ of sodium selenite; 0.4 mg L⁻¹ of sodium selenite and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite. The analysis of Shoot Dry Mass (SDM) production and activities of the antioxidative enzymes: Ascorbate Peroxidase (APX), Guaiacol Peroxidase (GPX) and Catalase (CAT) was performed. For SDM and APX the concentration of 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite caused higher values. CAT showed greater activity in treatments that received 0.4 and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate and 0.4 and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite than the control treatment. GPX showed superior activity in the treatments 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate, 0.2 mg L⁻¹ of sodium selenite and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite than the control treatment. It was concluded that selenium promoted improvements in the antioxidant activity and in the production of shoot dry mass of sunflower plants.

Keywords: antioxidant enzymes, sunflower, sodium selenate, sodium selenite

1. Introduction

The cultivation of oilseeds has been encouraged for the production of biofuels, such as biodiesel. The main crops used are soybeans and corn, which are also in great demand for the food industry (Diniz, Sargeant & Millar, 2018). Therefore, other crops such as palm, peanut, forage radish, castor bean, sesame, canola and sunflower have become an object of study for the development of techniques that improve agricultural management (Cavalcante Filho, Buainain & Benatti, 2019).

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an annual crop with good acclimatization to different climate and soil conditions. It can be used as ornament, food and for the production of biofuels (Araújo, D. Silva, V. Silva, Magalhães & Barros, 2018). However, there are regions, such as those with a semi-arid climate, in which water and climate limitations impact the crops negatively. Due to low rainfall regimes, evapotranspiration is higher, which can cause drier soils that accumulate salts, leading plants to a stress condition (Gül, Dinler & Sarısoy, 2017).

Fertilization and irrigation are widely used techniques to remediate abiotic stresses (Araújo et al., 2018). The use of additives, such as selenium, has shown that there is a possibility of a positive effect on crops subjected to stress, when used in adequate concentrations (AL-Kazzaz, 2018).

Selenium is a trace element that may be naturally present in soils. However, about 70% of the world has selenium deficient soils. In soils, selenium comes from rocky weathering and volcanic magma. Its availability depends on the parameters that guide the chemical and biochemical reactions of the soil. Regions whose climate is temperate and humid are mostly poor in selenium (Hossain et al., 2021). For plants, the presence of selenium can present benefits, such as increased productivity, a positive influence on the quality of products (such as fruits and seeds) and on plant senescence. The bioavailable forms for plants are those soluble in water, which are organic selenium, selenite and selenate (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018).

Gül et al. (2018), evaluated sunflower plants under different salt stress conditions in the Black Sea region. The authors found that salt stress conditions reduced the percentage of seedling germination. Habibi (2017) carried out a study in the region of Poland, where the climate is temperate, subjecting sunflower plants added with sodium selenate to salt stress and concluding that selenium helped to reduce damage to the plant. Hachmann et al. (2019), when testing selenium concentrations in cauliflower plants subjected to water stress, observed higher productivity in those treatments that contained selenium.

Considering the scarcity of studies that quantify the ideal selenium concentration applied in soil/substrates for the cultivation of sunflower plants in tropical and semi-arid climates, such as in Northeastern Brazil, the aim of this work was to evaluate the concentration of sodium selenite or sodium selenate applied to

the substrate that causes improve in plant growth and antioxidative enzyme activities in sunflower plants.

2. Method

The experiment was carried out between August and September 2021, under greenhouse conditions at Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Maracanaú campus – CE, Brazil. The geographical location is 24 M 543133.84 m E / 9571989.84 m S. The climate is tropical, with dry winters according to the Köppen classification, the average temperature was 26°C and the average humidity was 65% (Climate-Data, 2022).

The experimental design was completely randomized, with seven independent treatments containing five replications each one. Two sources of selenium were used, sodium selenate (Na_2SeO_4) and sodium selenite (Na_2SeO_3), applied directly to the soil on the day of sowing. The concentrations chosen were based on the study of Nasser (2015). The treatments were divided into control (absence of selenium); 0.2 mg L⁻¹ of sodium selenate; 0.4 mg L⁻¹ of sodium selenate; 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate; 0.2 mg L⁻¹ of sodium selenite; 0.4 mg L⁻¹ of sodium selenite and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite.

Each treatment contained five replications, with three plants in plastic vases of 5 L. The substrate that was used contained four volumes of sand and a volume of commercial earthworm humus, plus the selenium concentration corresponding to the treatment. The sunflower seeds used were cultivar BRS 323, provided by the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). The irrigation was daily at 80% of field capacity.

At 19 days after sowing (DAS), a destructive harvest was performed. The material was separated into two parts. The first one for the quantification of Shoot Dry Mass (SDM) and the other one for the enzymatic analyses. In order to obtain the SDM, the plants were placed in paper bags in a forced circulation oven, with a temperature of 60°C, until the material had a constant mass. Subsequently, the dry material was weighed on an analytical balance to obtain the SDM.

In the enzymatic analysis, the material was used in the form of extracts, produced according to the methodology of Nunes et al. (2017). All analyzes used spectrophotometric methods. Catalase (CAT) activity was determined by the methodology of Havir & McHale (1987). The determination of Ascorbate Peroxidase (APX) concentration was performed by the method of Nakano & Asada (1981). Finally, the activity of the enzyme Guaiacol Peroxidase (GPX) was determined by the methodology of Kar & Mishra (1976).

Data were tested by analysis of variance (ANOVA) and means compared by Tukey's test ($P \leq 0.05$). The Sigma Plot 11.0 program was used to perform statistical analysis and graph construction.

3. Results and discussion

The plants that received selenium in the form of sodium selenate (Na_2SeO_4) and sodium selenite (Na_2SeO_3), in most concentrations, had higher values than those obtained in the control treatment. For the variable Shoot Dry Mass (SDM), the treatment with the highest value was the one that received a concentration of 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite, with an average value of 0.27 g plant⁻¹, as shown in Figure 1. In comparison to the average of the other treatments that received selenium, the percentage of growth was 30% higher. And in relation to the average of the control treatment, the values were 50% higher.

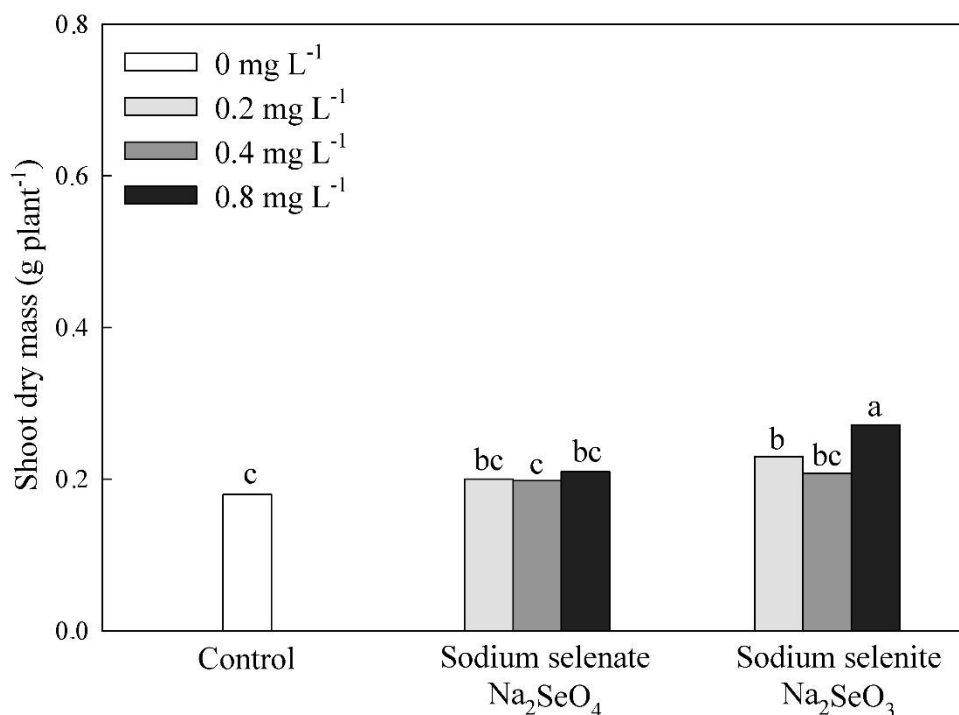


Figure 1. Shoot Dry Mass at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations. The letters are the representation of the Tukey's test statistics ($P \leq 0.05$), different letters represent that there was a statistical difference between the treatments.

The correlation between variables, such as biomass and dry matter are factors directly proportional to productivity. The dry matter values vary accordingly to the radiation absorption capacity, the conversion of this radiation into matter and the disposition of this produced material in the plant's partitions (Guimarães, Echer & Minami, 2002). At first, the seed provides the necessary resources to initiate the formation of the organs, as the root system and leaves are developed and the interaction with the substrate and photosynthetic processes increase. These factors are correlated with an increase in leaf area, which is represented by SDM values (Peixoto, Cruz & F. Peixoto, 2011).

Machado (2022) added selenium to onion cultivation and also obtained higher dry matter values for treatments that received doses of selenium, with a productivity increase of 14.7% in relation to those that did not receive selenium. Similarly, Hachmann (2019) obtained satisfactory values of SDM when adding selenium to the cultivation of vegetables: tomato, pepper, eggplant, cucumber, pumpkin, melon, watermelon and string bean.

Some defense mechanisms are essential to ensure that plants can maintain vitality and productivity. The antioxidative enzymes Ascorbate Peroxidase (APX), Guaiacol Peroxidase (GPX) and Catalase (CAT) are active in cellular defense processes (Soares & Machado, 2007). When analyzing the enzymatic activity for CAT (Figure 2), the treatments that received sodium selenate and the treatments 0.4 and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite outperformed the control treatment. The greatest increase in the activity of this enzyme was noticeable in the treatments 0.4 and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate and 0.4 and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite, which showed no statistical differences between them, obtaining an average value of 20.97 $\mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$. It represents an increase of 57% compared to the control treatment.

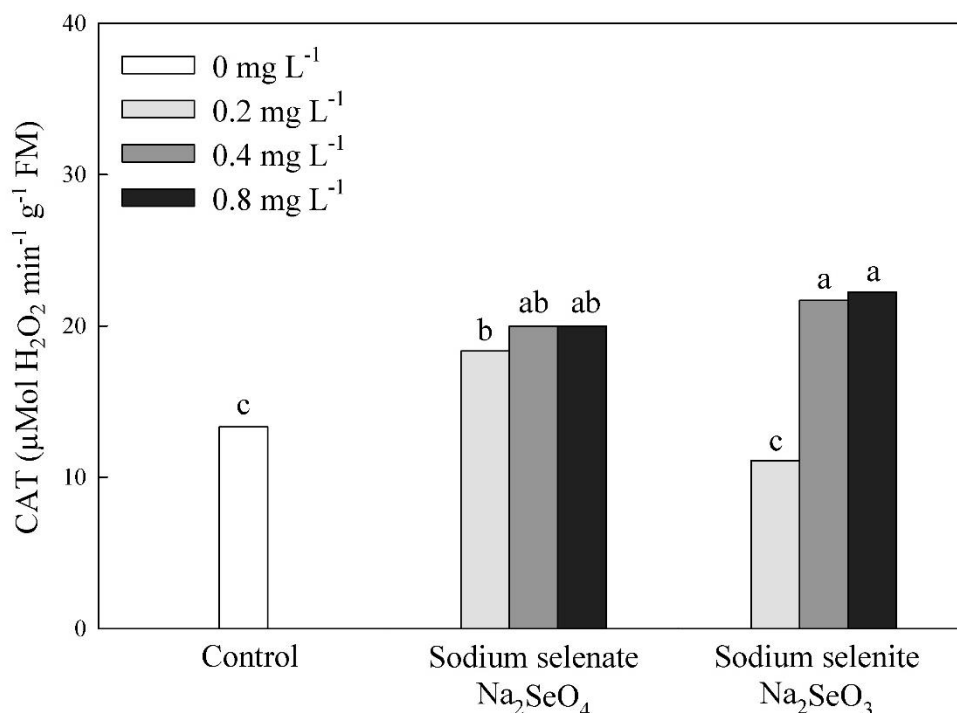


Figure 2. CAT enzyme activity at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations. The letters are the representation of the Tukey's test statistics ($P \leq 0.05$), different letters represent that there was a statistical difference between the treatments.

Mateus et al. (2021) biofortified coffee plants with concentrations of sodium selenate and obtained greater activity in CAT for those treatments that received selenium. CAT is an enzyme that acts in the neutralization of hydrogen peroxide, which is degenerative to crops, transforming it into water and oxygen (Tehrani & Moosavi-Movahedi, 2018). Reactive oxygen species (ROS) such as hydrogen peroxide (H_2O_2), superoxide anion radical ($O_2^{\cdot-}$) and hydroxyl ($OH^{\cdot}$) trigger cellular mechanisms such as apoptosis and senescence (Gutierrez-Martinez et al., 2020).

CAT when compared to APX (Figure 3) and GPX (Figure 4) had much higher H_2O_2 elimination values. Barbosa, Silva, Willadino, Ulisses & Camara (2014) state that CAT is the main enzyme in the elimination of H_2O_2 , and can be found in peroxisomes, glyoxysomes and mitochondria. Unlike peroxidases, which rely on a regeneration cofactor, CAT can carry out the reaction independently. Gondim, Miranda, Gomes-Filho & Prisco1 (2013) found increases in the antioxidant system of corn plants subjected to moderate concentrations of H_2O_2 , mainly the increase in CAT activity. Thus, suggesting that an activation of the antioxidative system can promote beneficial effects. It is believed that selenium enhanced the antioxidant defense system of sunflower plants due to the increase in enzymatic activity.

APX (Figure 3) is an enzyme that uses ascorbic acid to reduce H_2O_2 to H_2O . High APX activities mean efficient conversion of this ROS (Cheng, Yu, Guo, Chen & Minrui Guo, 2020). APX was higher in the treatment containing 0.8 mg L^{-1} of sodium selenite, with a mean value of $0.06 \text{ } \mu\text{Mol } H_2O_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$. This average was three times higher than that obtained in the control treatment. In relation to the other treatments containing selenium, there was an increase of 53% in the activity of this enzyme. Mateus et al. (2021) also performed APX analyzes and similarly found values three times higher for the selenium-supplemented treatment compared to the control.

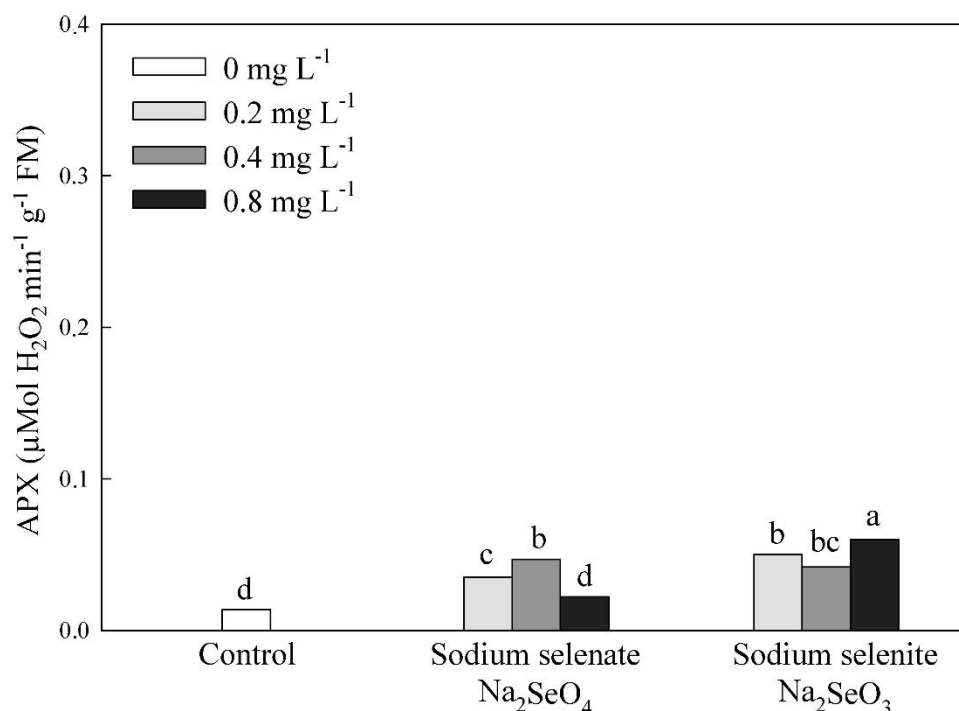


Figure 3. APX enzyme activity at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium concentrations. The letters are the representation of the Tukey's test statistics ($P \leq 0.05$), different letters represent that there was a statistical difference between the treatments.

Peroxidases develop many activities in plants along various cellular processes, such as cell wall formation and plant defense response system (Simo, Djocgoue, Minyaka & Omokolo, 2018). GPX (Figure 4) is an enzyme found in the cytosol, vacuole, cell wall and apoplast, being a peroxidase that acts in the elimination of ROS (Uarrota et al., 2016). GPX had greater activity in the treatments that contained some concentration of selenium. The treatments 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenate, 0.2 mg L⁻¹ of sodium selenite and 0.8 mg L⁻¹ of sodium selenite did not differ statistically from each other. An average value of 0.446 $\mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FM}$ was observed, which is twice the average of the control treatment.

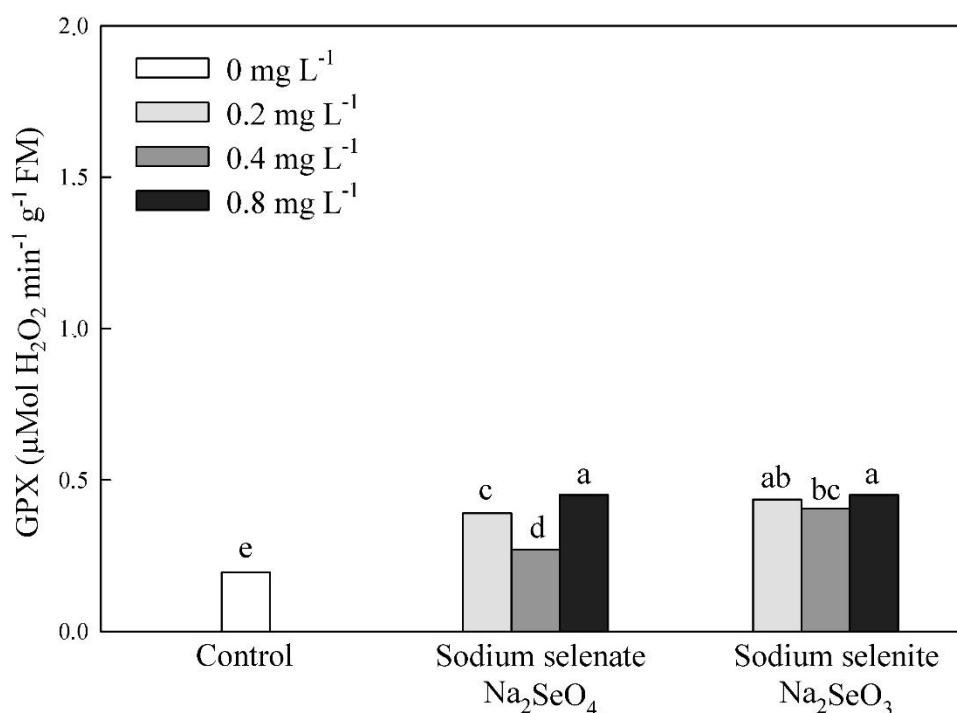


Figure 4. GPX enzyme activity at 19 days after sowing of sunflower plants plus substrate selenium

concentrations. The letters are the representation of the Tukey's test statistics ($P \leq 0.05$), different letters represent that there was a statistical difference between the treatments.

Different doses of selenium imply its effectiveness. Naseem et al. (2021) found out that high doses of selenium compromise gas exchange in corn crops. Other studies such as the one by Ulhassan et al. (2019), when cultivating *Brassica napus*, were able to perceive beneficial effects on the antioxidant system in some treatments submitted with dosages of sodium selenite. Selenium, in adequate concentrations, is a regulator of enzymatic reactions involving the elimination of ROS, according to studies carried out by Hernández-Hernández et al. (2019), who showed incremental effects on CAT, APX and GPX activity in tomato crops added to selenium.

4. Conclusion

In the experimental conditions used, selenium promoted improvements in the antioxidative enzyme activities and in the Shoot Dry Mass of sunflower plants. In general, the treatment with a concentration of 0.8 mg L^{-1} of sodium selenite outperformed the control treatment in all variables analyzed. When compared to the other treatments containing selenium, it was superior in the variables MSPA and APX.

Studies involving abiotic stresses, such as salt and water stress are indicated to corroborate the positive effects of selenium on the antioxidant system of sunflower plants. In addition, analyzes that can quantify the selenium concentration absorbed by the plants are necessary to confirm its effectiveness.

Acknowledgments

The authors thank Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior for technical and financial support.

References

- AL-Kazzaz, A. G. M. (2018). Effect of salinity stress and selenium spraying on broad bean plant *Vicia Faba* L. *Plant Archives*, 18(2), 2335-2339. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/337317618_EFFECT_OF_SALINITY_STRESS_AND_SELENIUM_SPRAYING_ON_BROAD_BEAN_PLANT_VICIA_FABA_L
- Araújo, A. D. S., Silva, D. J. D., Silva, A. D. V. S., Magalhães, I. C. S., & Barros, R. P. D. (2018). Análise da fenologia do Girassol *Helianthus annuus* L. variedade anão. *Diversitas Journal*, 3(2), 184-190. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i2.602>
- Barbosa, M. R., Silva, M. M. D. A., Willadino, L., Ulisses, C., & Câmara, T. R. (2014). Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, 44, 453-460. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011>
- Cavalcante Filho, P. G., Buainain, A. M., & Benatti, G. S. D. S. (2019). A cadeia produtiva agroindustrial do biodiesel no Brasil: um estudo sobre sua estrutura e caracterização. *DRd-Desenvolvimento Regional em debate*, 9, 772-799. <https://doi.org/10.24302/drd.v9i0.2252>
- Cheng, S., Yu, Y., Guo, J., Chen, G., & Guo, M. (2020). Effect of 1-methylcyclopropene and chitosan treatment on the storage quality of jujube fruit and its related enzyme activities. *Scientia Horticulturae*, 265, 109281. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109281>
- Climate-Data.org. (2022). Clima Maracanaú. Retrieved from <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/maracanau-4520/>
- Diniz, A. P. M., Sargeant, R., & Millar, G. J. (2018). Stochastic techno-economic analysis of the production of aviation biofuel from oilseeds. *Biotechnology for biofuels*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1158-0>
- Garduño-Zepeda, A., & Márquez-Quiroz, C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica. *Información Técnica Económica Agraria*, 114(4), 327-343. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.019>
- Gondim, F. A., Miranda, R. D. S., Gomes-Filho, E., & Prisco, J. T. (2013). Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H_2O_2 leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25, 251-

260. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/txpp/a/TQnxJmQ4cXJPQm6fSFvmvdD/abstract/?lang=en#>
- Guimarães, V. F., Echer, M. M., & Minami, K. (2002). Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas beterraba. *Horticultura Brasileira*, 20, 505-509. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000300022>
- Gül, V., Dinler, B. S., & Sarısoy, U. (2017). Effect of Different NaCl Concentrations on Germinations Period of Oil Sunflower Seeds (*Helianthus annuus* L.) Grown in the Black Sea Region. *Journal of Agricultural Science*, 9(4), 10-5539. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n4p217>
- Gutiérrez-Martínez, P. B., Torres-Morán, M. I., Romero-Puertas, M. C., Casas-Solís, J., Zarazúa-Villaseñor, P., Sandoval-Pinto, E., & Ramírez-Hernández, B. C. (2020). Assessment of antioxidant enzymes in leaves and roots of *Phaseolus vulgaris* plants under cadmium stress. *Biotechnia*, 22(2), 110-118. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i2.1252>
- Havir, E. A., & McHale, N. A. (1987). Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant physiology*, 84(2), 450-455. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>
- Habibi, G. (2017). Physiological, photochemical and ionic responses of sunflower seedlings to exogenous selenium supply under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(10), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2517-3>
- Hachmann, T. L. (2019). Manejo da irrigação e aplicação de selênio em hortaliças (Doctoral dissertation, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brazil). Retrieved from <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6613>
- Hachmann, T. L., Rezende, R., Matumoto-Pinto, P. T., Saath, R., Anjo, F. A., & Menezes, C. S. L. (2019). Yield, antioxidant activity and shelf-life of cauliflower inflorescences under drought stress and foliar spraying of selenium. *Ciência e Agrotecnologia*, 43. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943017819>
- Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., ... & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*, 8(10), 355. <https://doi.org/10.3390/plants8100355>
- Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Maitra, S., Sarkar, S., Ahmad, Z., ... & Laing, A. M. (2021). Selenium biofortification: roles, mechanisms, responses and prospects. *Molecules*, 26(4), 881. <https://doi.org/10.3390/molecules26040881>
- Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology*, 57(2), 315-319. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>
- Machado, B. Q. V. (2022). Biofortificação agrônômica da cebola com selênio e aspectos produtivos. (Doctoral dissertation, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, Brazil). Retrieved from <http://hdl.handle.net/11449/234720>
- Mateus, M. P. D. B., Tavanti, R. F. R., Tavanti, T. R., Santos, E. F., Jalal, A., & Dos Reis, A. R. (2021). Selenium biofortification enhances ROS scavenge system increasing yield of coffee plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209, 111772. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111772>
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Naseem, M., Anwar-ul-Haq, M., Wang, X., Farooq, N., Awais, M., Sattar, H., ... & El-Esawi, M. A. (2021). Influence of selenium on growth, physiology, and antioxidant responses in maize varies in a dose-dependent manner. *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6642018>
- Nasser, V. G. (2015). biofortificação da cultura da batata com selênio. (Master's thesis, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brazil). Retrieved from <https://locus.ufv.br/handle/123456789/7168>
- Nunes, F. H., Gondim, F. A., Freitas, V. S., Braga, B. B., Brito, P. O. B. D., & Martins, K. (2017). Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. *Revista Ambiente & Água*, 12, 71-86. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1964>

- Peixoto, C., Cruz, T., & Peixoto, M. de F. (2011). Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13). Retrieved from <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4092>
- Simo, C., Djougoue, P. F., Minyaka, E., & Omokolo, N. D. (2018). Guaiacol Peroxidase heritability in tolerance of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) to Phytophthora megakarya, agent of Cocoa black pod disease. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 6(2), 7-20. <https://doi.org/10.15739/IJAPR.18.002>
- Soares, A. M. S., & Machado, O. L. T. (2007). Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. *Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas*, 1(1), 10. Retrieved from <https://www.yumpu.com/pt/document/view/16975140/defesa-de-plantas-sinalizacao-quimica-e-especies-reativas-de->
- Tehrani, H. S., & Moosavi-Movahedi, A. A. (2018). Catalase and its mysteries. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 140, 5-12. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2018.03.001>
- Uarrota, V. G., Moresco, R., Schmidt, E. C., Bouzon, Z. L., Costa Nunes, E., de Oliveira Neubert, E., ... & Maraschin, M. (2016). Data supporting the role of enzymes and polysaccharides during cassava postharvest physiological deterioration. *Data in brief*, 6, 503-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.025>
- Ulhasan, Z., Gill, R. A., Ali, S., Mwamba, T. M., Ali, B., Wang, J., ... & Zhou, W. (2019). Dual behavior of selenium: insights into physio-biochemical, anatomical and molecular analyses of four *Brassica napus* cultivars. *Chemosphere*, 225, 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.028>

EXPERIMENTO III

ARTIGO 4

(Submetido para a Revista de Ciências Agrárias da Sociedade de Ciências Agrária de Portugal, 2022)

Selênio em girassol sob estresse e atividade enzimática

Selenium in sunflower under stress and enzymatic activity

Resumo

Os efeitos do selênio sobre as plantas podem ser benéficos ou tóxicos, variando de acordo com a concentração. O objetivo do estudo foi avaliar a influência do selenito de sódio (Na_2SeO_3) na produção de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e atividades enzimáticas de plantas de girassol, sobre estresse hídrico ou salino. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2×2 (ausência ou presença de estresse; e ausência ou presença de selênio). A MSPA foi maior nos tratamentos que receberam Na_2SeO_3 . Para as atividades das enzimas antioxidativas, a Catalase, nos grupos contendo Na_2SeO_3 tiveram maiores médias no tratamento submetido ao estresse hídrico. Para a Peroxidase do Ascorbato, ao comparar os grupos que receberam Na_2SeO_3 , o tratamento Ausência de estresse obteve a maior atividade. Para a Peroxidase do Guaiacol, foram maiores os grupos com Na_2SeO_3 em comparação ao controle. Assim, a adição de Na_2SeO_3 na concentração de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ apresenta efeitos positivos sobre atividade enzimática antioxidativa e MSPA de plantas de girassol em presença ou ausência de estresse hídrico ou salino.

Palavras-Chave: Selenito de sódio; Atividade antioxidante; Girassol; Estresse.

Abstract

The effects of selenium on plants can be beneficial or toxic, varying according to the concentration. The aim of the study was to evaluate the influence of sodium selenite

(Na_2SeO_3) on the production of Shoot Dry Mass (SDM) and enzymatic activity of sunflower plants, under water or saline stress. The experimental design was completely randomized, with a 2x2 factorial arrangement (absence or presence of stress and absence or presence of selenium). SDM was higher in treatments that received Na_2SeO_3 . For the activities of the antioxidative enzymes in the groups containing Na_2SeO_3 : the treatment submitted to water stress had higher averages of Catalase; the treatment with absence of water and salt stress had the highest Ascorbate Peroxidase activity; all the treatments had higher averages of Guaiacol Peroxidase compared to the control group. Thus, the addition of Na_2SeO_3 at a concentration of 0.8 mg L^{-1} has positive effects on antioxidative enzymatic activity and SDM of sunflower plants in the presence or absence of water or salt stress.

Keywords: Sodium selenite; Antioxidant activity; Sunflower; Stress.

Introdução

As plantas são constituídas de 90 a 95% de água, sendo primordial para processos fisiológicos, tais como a fotossíntese e translocação de nutrientes. A água, assim como os nutrientes, é fornecida a partir do meio em que a planta está inserida. Condições de restrição hídrica causam efeitos diretos em sua fisiologia e bioquímica, sendo visíveis na senescência vegetal precoce. Essas condições propiciam desvios significativo nos padrões normais vitais e são denominadas de condição de estresse (Campos *et al.*, 2021).

A água é um fator limitante de distribuição das plantas no mundo. As regiões que são acometidas por períodos de seca tendem a ter composições vegetais menos volumosas e mais espaçadas, refletindo diretamente na produtividade das espécies (Bittencourt e

Silva, 2018). A irrigação é o manejo que permite que algumas espécies se desenvolvam em clima árido ou semiárido. A água nessas regiões muitas vezes provem do lençol freático, que são formados a partir da conformação cristalina das rochas e possuem uma alta taxa de evapotranspiração concentrando os sais, tornando a água salina. Em plantas, essa condição salina gera um estresse, oriundo da redução do potencial osmótico e da toxicidade aos íons Cl^- e Na^+ (Tavares Filho *et al.*, 2020).

Uma das possibilidades para a remediação das condições de estresse em plantas é um bom manejo agrícola, cuja a adubação é eficiente (Costa *et al.*, 2019). O selênio é um micronutriente para plantas, podendo atuar no sistema antioxidante, dando aos cultivos uma maior tolerância a estresses abióticos. Além de atuar na redução das espécies reativas de oxigênio (EROs), também participa da síntese de pigmentos e trocas gasosas (Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

A concentração de selênio para cada cultivo pode variar, influenciando no efeito benéfico ou tóxico. Elevadas concentrações de selênio causam fitotoxicidade em folhas e aumentam a concentração de EROs, caracterizando assim um estresse às plantas (Lanza e Reis, 2021). Alguns estudos envolvendo adição de selênio às plantas, tais como os cultivos de morango, trigo, arroz, fava e alho, que, ao serem submetidas à estresses abióticos, tiveram incrementos no crescimento e na atividade enzimática (Astaneh *et al.*, 2017; Al-kazzaz, 2018; Ikram *et al.*, 2020; Zahedi *et al.*, 2020; Ghouri *et al.*, 2021).

Nativa da América do Norte, a cultura do girassol é mundialmente difundida e pode ser utilizada na alimentação humana e animal. É a quarta oleaginosa com maior lucratividade e economia, ficando atrás somente da soja, canola e cártamo. O girassol possui uma boa capacidade de aclimação a solos e climas diversos (Adeleke e Babalola, 2020). Essa característica tem relação direta com seu sistema radicular

extenso, permitindo que possa alcançar água e nutrientes de porções mais distantes do solo (Chappa *et al.*, 2022).

Sabendo da importância do óleo de girassol e da necessidade de maximizar a produtividade agrícola em regiões cuja água é limitada ou salina. O objetivo do estudo foi avaliar a influência do selenito de sódio (Na_2SeO_3) na produção de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e atividade enzimática de plantas de girassol, sobre estresse hídrico ou salino.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada entre os meses de setembro e outubro de 2021. Os vasos foram alocados em telado agrícola no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Maracanaú, Ceará, Brasil. Localizado na zona 24 M 543134.88 m E e 9571988.43 m S. Região com temperatura média de 27°C, cujo clima é tropical quente sub-úmido e tem seu período de chuvoso entre janeiro e maio (IPECE, 2017).

Os tratamentos foram divididos em quatro tipos: 1) ausência de estresse, 2) estresse salino a 50 mM NaCl, 3) estresse salino a 100 mM NaCl e, 4) estresse hídrico (suspensão da irrigação aos 14 dias após a semadura). Cada tratamento recebeu um grupo sem adição de selênio, denominado de controle, e um grupo com adição de 0,8 mg L⁻¹ de selenito de sódio (Na_2SeO_3) no substrato no dia da semadura.

Os tratamentos foram compostos por grupos com 5 repetições cada em vasos de 5L, os vasos continham areia e húmus de minhoca comercial na proporção de 4:1 (volume de areia: volume de húmus). As sementes de girassol utilizadas foram do cultivar BRS 323

fornecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Os regimes de irrigação foram listados no quadro 1.

Quadro 1 - Regime de irrigação empregado no delineamento experimental.

Tratamentos	Grupos	Regime de irrigação
Ausência de estresse	0,0 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃ (controle)	Rega diária com água destilada a 80% da capacidade de campo de cada vaso.
	0,8 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃	
Estresse salino a 50 mM NaCl	0,0 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃ (controle)	Rega diária com solução salina (água destilada acrescida de 50 mM NaCl) a 80% da capacidade de campo de cada vaso.
	0,8 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃	
Estresse salino a 100 mM NaCl	0,0 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃ (controle)	Rega diária com solução salina (água destilada acrescida de 100 mM NaCl) a 80% da capacidade de campo de cada vaso.
	0,8 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃	
Estresse hídrico	0,0 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃ (controle)	Rega diária com água destilada a 80% da capacidade de campo de cada vaso até os 14 dias após a semeadura, após esse período a rega foi suspensa.
	0,8 mg L ⁻¹ de Na ₂ SeO ₃	

Todos os tratamentos foram coletados aos 18 dias após a semeadura. Ao fim da coleta as plantas foram separadas, uma parte para as análises de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e outra para as análises das enzimas antioxidativas. Para a MSPA, foram coletados folha e caule de cinco plantas amostrais de cada grupo, armazenados em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada à 60°C até o material possuir massa constante. Logo após, o material foi pesado em balança analítica, assim obtendo o valor de MSPA.

Paras as análises enzimáticas, as folhas foram imediatamente congeladas em N₂ líquido e armazenadas a -80 ° C até a preparação dos extratos. O material foi transformado em extrato obedecendo a metodologia de Nunes *et al.* (2017). Os extratos foram

empregados nas análises das atividades das enzimas Catalase (CAT), Peroxidase do Ascorbato (APX) e Peroxidase do Guaiacol (GPX), por métodos espectrofométricos. Seguiu-se as seguintes metodologias, respectivamente: Havir e McHale (1987), Nakano e Asada (1981) e Kar e Mishra (1976).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto de um arranjo fatorial de 2x2 (ausência ou presença de estresse e; ausência ou presença de selênio). Para análise estatística, os dados passaram por análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa SISVAR 5.8. Os gráficos foram elaborados no programa Sigma Plot 11.0.

Resultados e Discussão

A Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), representada na Figura 1, foi superior, em sua maioria, nos tratamentos que receberam a adição de selenito de sódio (Na_2SeO_3). Entre os grupos que receberam Na_2SeO_3 , as plantas que não foram submetidas a estresse apresentaram maiores valores, obtendo diferença estatística significativa de 173%. O valor médio das plantas foi de $0,52 \text{ g planta}^{-1}$. As plantas que foram submetidas ao estresse salino nas duas concentrações de NaCl tiveram melhora na produtividade com a adição de Na_2SeO_3 quando comparadas ao grupo controle. Para a solução salina a 50mM de NaCl, o percentual de incremento foi de 64%. Já para a solução salina a 100mM de NaCl, o aumento foi de 37,5%.

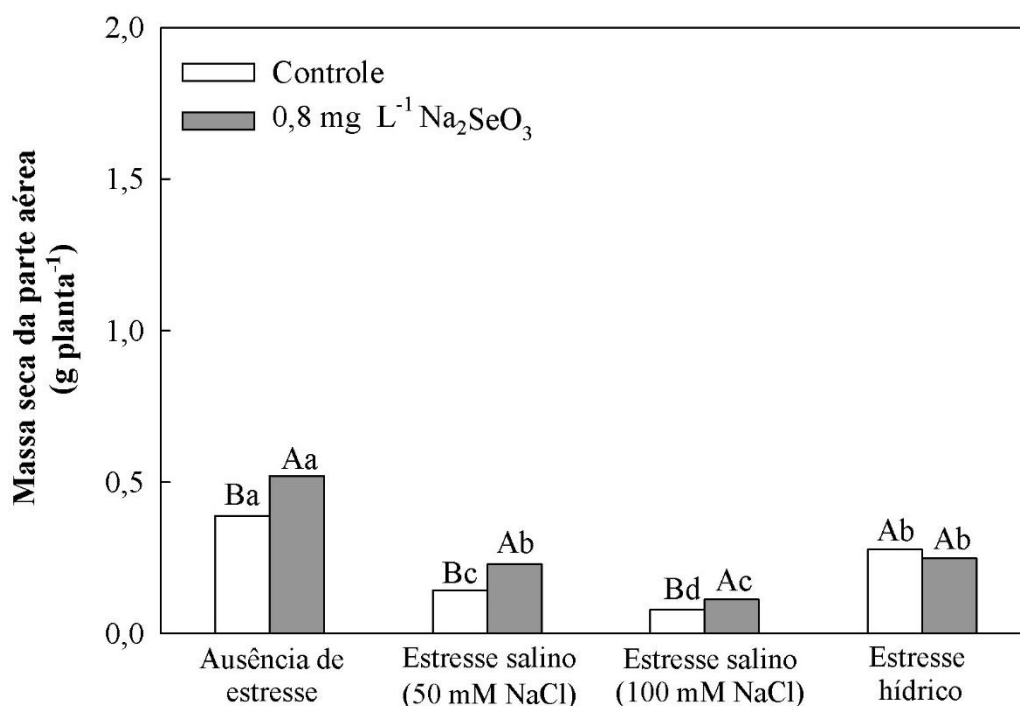


Figura 1 - Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de girassol acresscidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação. Barras brancas simbolizam o grupo controle (sem adição de selênio) e as barras cinzas os grupos que receberam selenito de sódio. As letras representam as diferenças estatísticas segundo o teste de tukey ($P \leq 0.05$), letras maiúsculas representam diferenças significativas entre ausência ou presença de selênio e letras minúsculas representam as diferenças significativas entre as irrigações empregadas (ausência de estresse, estresse salino a 50 mM NaCl, estresse salino a 100 mM NaCl e estresse hídrico).

Condições de estresse tendem a reduzir a massa das plantas, assim como no resultado obtido por Dias *et al.* (2019), que ao cultivar rúcula sob condição de estresse salino comprovou que o aumento nas concentrações salinas acarretaram em diminuição da produtividade. O aumento na quantidade de sais, tais como o Na^+ e o Cl^- , ocasiona efeito osmótico, reduzindo a absorção de água, e posteriormente prejuízos nos tecidos vegetais, devido ao comprometimento da absorção de nutrientes essenciais (Sousa *et al.*, 2018). A assimilação do Selênio atua como potencializador do sistema de defesa dos plantios. Estudos realizados por Subramanyam *et al.* (2019), realizaram testes com o

cultivo de arroz acrescido de selênio em condição de estresse salino. Os autores observaram aumento na biomassa das plantas também e aumento considerável na produtividade em relação ao tratamento controle.

Em resposta ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), devido a condição de estresse, as plantas produzem enzimas atuantes no sistema antioxidante. Esse sistema é composto por agentes enzimáticos, tais como a Catalase (CAT), Peroxidase do Ascorbato (APX) e a Peroxidase do Guaiacol (GPX) (ROSADO et al., 2018). Ao analisar a enzima CAT (Figura 2), os grupos com a adição de Na_2SeO_3 quando comparados tiveram média maior para o tratamento que foi submetido ao estresse hídrico. Com um valor médio de $155,56 \mu\text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$. Representando um incremento na atividade dessa enzima de 41,41%. Ao comparar as plantas que receberam Na_2SeO_3 com o grupo controle, dentro do tratamento Estresse hídrico, a adição de selênio promoveu uma atividade na CAT de 79,48% maior. O tratamento Estresse salino (50 mM de NaCl) não apresentou diferença estatística entre o grupo com a adição de Na_2SeO_3 e controle. Nas plantas do tratamento Estresse salino (100 mM de NaCl) com aumento da severidade do estresse, o grupo controle teve maior atividade da enzima do que o grupo com Na_2SeO_3 .

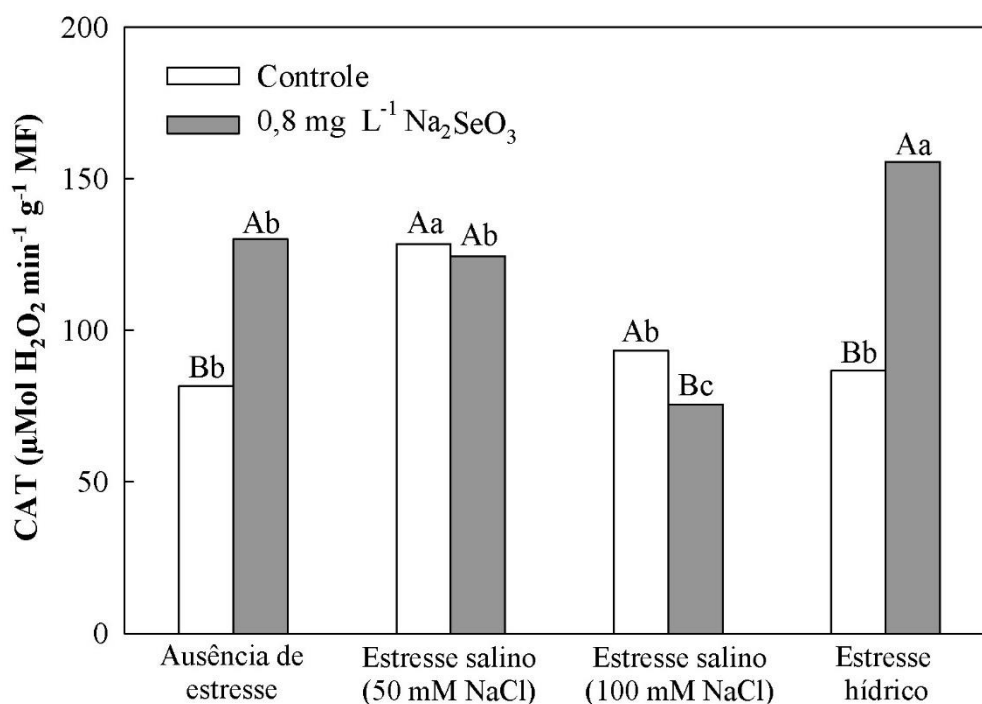


Figura 2 - Atividade da enzima catalase (CAT) de plantas de girassol acresscidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação. Barras brancas simbolizam o grupo controle (sem adição de selênio) e as barras cinzas os grupos que receberam selenito de sódio. As letras representam as diferenças estatísticas segundo o teste de tukey ($P \leq 0.05$), letras maiúsculas representam diferenças significativas entre ausência ou presença de selênio e letras minúsculas representam as diferenças significativas entre as irrigações empregadas (ausência de estresse, estresse salino a 50 mM NaCl, estresse salino a 100 mM NaCl e estresse hídrico).

A CAT é uma das enzimas antioxidativas de maior presença nas células, atuando na eliminação do peróxido de hidrogênio (Hadwan, 2018). Estudos feitos por Karimi *et al.* (2020), que testaram concentrações de selênio em *Vitis vinifera* L. em condições de estresse salino (75 mM NaCl), constataram que aqueles tratamentos com adição de selênio se sobressaíram em 48% ao tratamento controle. Similarmente, estudos feitos por Nawaz *et al.* (2015), avaliaram plantas de trigo submetidas ao estresse hídrico, e aquelas que receberam selênio tiveram uma atividade 27% maior que o tratamento controle.

A atividade da enzima APX (Figura 3), ao comparar os grupos que receberam Na_2SeO_3 , no tratamento Ausência de estresse obteve a maior atividade, sendo superior em 179% aos demais. Para os tratamentos que receberam algum tipo de estresse, o grupo acrescido que Na_2SeO_3 submetido a estresse hídrico foi superior em 52% ao grupo também de Na_2SeO_3 em Estresse salino (50 mM de NaCl). As plantas submetidas a estresse hídrico obtiveram maior atividade da enzima APX no grupo contendo Na_2SeO_3 do que o grupo controle. O mesmo comportamento se repetiu para o Estresse salino (50 mM de NaCl), o grupo Na_2SeO_3 foi 29% superior ao grupo controle. O tratamento Estresse salino (100 mM de NaCl) não apresentou atividade da enzima para o grupo acrescido de Na_2SeO_3 .

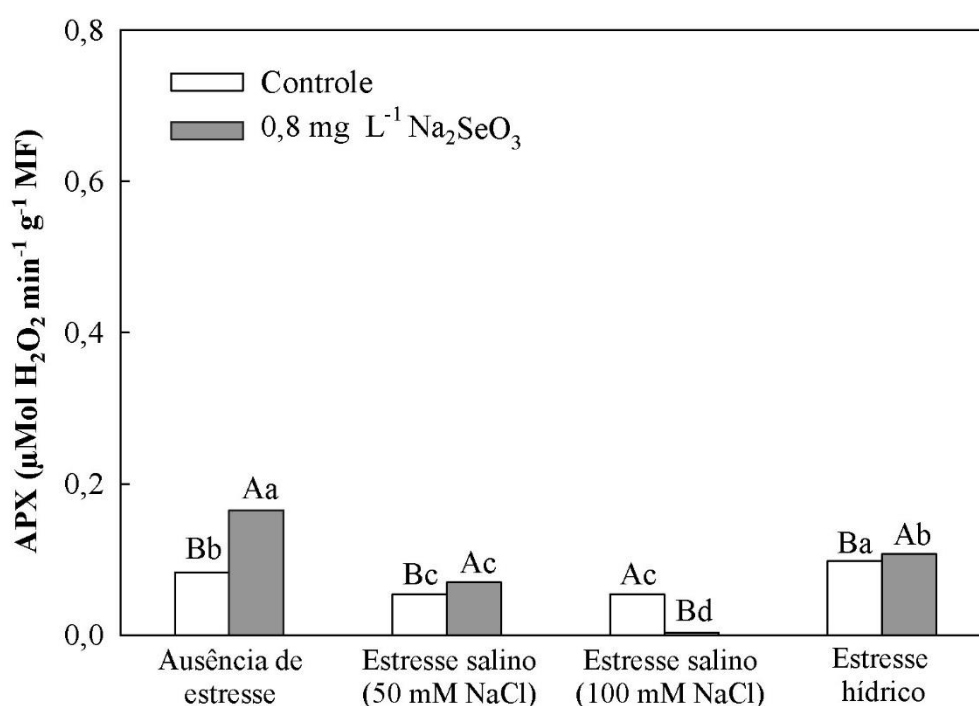


Figura 3 - Atividade da enzima peroxidase do ascorbato (APX) de plantas de girassol acressidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação. Barras brancas simbolizam o grupo controle (sem adição de selênio) e as barras cinzas os grupos que receberam selenito de sódio. As letras representam as diferenças estatísticas segundo o teste de tukey ($P \leq 0.05$), letras maiúsculas representam diferenças significativas entre ausência ou presença de selênio e letras minúsculas representam as

diferenças significativas entre as irrigações empregadas (ausência de estresse, estresse salino a 50 mM NaCl, estresse salino a 100 mM NaCl e estresse hídrico).

Karimi *et al.* (2020), também encontraram incrementos na atividade da APX em plantas acrescidas de selênio, tanto no grupo sem estresse quanto no grupo com a presença de estresse. Outros estudos, como o de Rahman *et al.* (2021), constataram uma maior atividade da APX quando adicionaram selênio em plantas de *Glycine max* L. submetidas ao estresse salino.

A atividade da enzima GPX (Figura 4), na maioria dos tratamentos foi maior no grupo que recebeu Na₂SeO₃ em comparação ao controle. Os grupos Na₂SeO₃ do tratamento Ausência de estresse e do tratamento Estresse salino (50 mM de NaCl) não apresentaram diferenças estatísticas entre si, sendo 36% maior que o grupo Na₂SeO₃ do tratamento Estresse salino (100 mM de NaCl) e 77% superior ao grupo Na₂SeO₃ do tratamento Estresse hídrico. As plantas submetidas a Estresse hídrico tiveram um aumento de 22% na atividade da GPX ao adicionar Na₂SeO₃. Já nas plantas submetidas a Estresse salino (50 mM de NaCl), esse incremento foi de 15%. O tratamento Estresse salino (100 mM de NaCl) não teve maior atividade que o tratamento controle, sendo estatisticamente iguais.

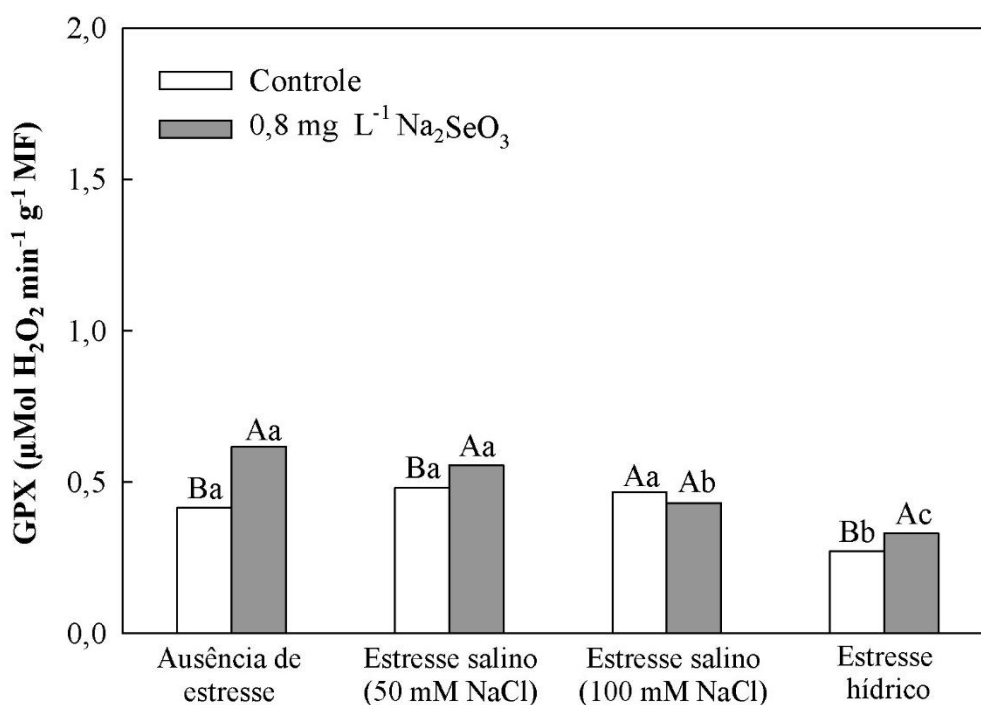


Figura 4 - Atividade da enzima peroxidase do guaiacol (GPX) de plantas de girassol acresscidas ou não de selênio no substrato submetidas a distintas condições de irrigação. Barras brancas simbolizam o grupo controle (sem adição de selênio) e as barras cinzas os grupos que receberam selenito de sódio. As letras representam as diferenças estatísticas segundo o teste de tukey ($P \leq 0.05$), letras maiúsculas representam diferenças significativas entre ausência ou presença de selênio e letras minúsculas representam as diferenças significativas entre as irrigações empregadas (ausência de estresse, estresse salino a 50 mM NaCl, estresse salino a 100 mM NaCl e estresse hídrico).

Karimi *et al.* (2020), similarmente ao resultado encontrado para CAT e APX, encontraram valores superiores na atividade da GPX nos grupos que continham selênio em comparação aos grupos controle. A GPX tem como um de seus cofatores o selênio, sua presença, em concentração adequada, ou ausência tem resultados danosos ao sistema antioxidante. Assim, metabolizar selenoproteínas sistêmicas pode amenizar o estresse oxidativo (Shen *et al.*, 2022).

Em suma, a concentração de 0,8 mg L⁻¹ de selenito de sódio na ausência ou presença de estresse se sobressaiu em sua maioria ao tratamento controle no aumento da MSPA.

Adicionalmente, a atividade das enzimas antioxidativas foi predominantemente maior para as plantas de girassol acrescidas de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio (Na_2SeO_3). O selênio pode atuar na regulação de metabólitos secundários e solutos compatíveis para a proteção das células vegetais dos estresses. O desequilíbrio nutricional e a geração excessiva de EROs contribuem para a morte celular. O aumento da atividade enzimática é perceptível com a adição de selênio, tendo papel fundamental para a eliminação das EROs (Rahman *et al.*, 2021).

Conclusões

O selênio auxiliou no crescimento das plantas de girassol. De maneira geral, as plantas acrescidas de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio (Na_2SeO_3) apresentaram aumento da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e na atividade das enzimas antioxidativas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER), ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) e ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento e suporte a pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Adeleke, B. S. & Babalola, O. O. (2020) - Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science & Nutrition*, vol. 8, n. 9, p. 4666-4684. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>
- Al-Kazzaz, A. G. M. (2018) - Effect of salinity stress and selenium spraying on broad bean plant *Vicia faba* L. *Plant Archives*, vol. 18, n. 2, p. 2335-2339.

- Astaneh, R. K.; Bolandnazar, S.; Nahandi, F. Z. & Oustan, S. (2018) - The effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. *Information processing in agriculture*, vol. 5, n. 1, p. 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.003>
- Bittencourt, P. P. & Silva, L. N. N. (2018) - Estresse hídrico em plantas: aspectos morfofisiológicos, adaptações e mecanismos de resposta. In: *Botânica no Inverno, Laboratório de Algas Marinhas*, p. 235-244.
- Campos, A. J.; Santos, S. M. & Nacarath, I. R. F. F. (2021) - Water stress in plants: a review. *Research, Society and Development*, vol. 10, n. 15, p. e311101523155. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>
- Chappa, L. R.; Mugwe, J.; Maitra, S. & Gitari, H. (2022) - Current status, and prospects of improving sunflower production in Tanzania through intercropping with Sunn hemp. *International Journal of Bioresource Science*, vol. 9, p. 1-8. <https://doi.org/10.30954/2347-9655.01.2022.1>
- Costa, J. P. N.; Costa, A. R. F. C.; Medeiros, J. F.; Silva, M. V. T. & Lino, V. A. D. S. (2019) - Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 18, n. 3, p. 417-428. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n3p417-428>
- Dias, M. dos S.; Reis, L. S.; Santos, R. H. S.; Almeida, C. A. C.; Paes, R. de A.; Albuquerque, A. W. & Silva, F. de A. (2019) - Crescimento de plantas de rúcula em substratos e níveis de salinidade da água de irrigação. *Colloquium Agrariae*, vol. 15, n. 4, p. 22–30. <https://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n4.a308>
- Ghouri, F.; Ali, Z.; Naeem, M.; Ul-Allah, S.; Babar, M.; Baloch, F. S. & Shahid, M. Q. (2022) - Effects of silicon and selenium in alleviation of drought stress in rice. *Silicon*, vol. 14, n. 10, p. 5453-5461. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01277-z>

- Hadwan, M. H. (2018) - Simple spectrophotometric assay for measuring catalase activity in biological tissues. *BMC biochemistry*, vol. 19, n. 1, p. 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12858-018-0097-5>
- Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M. B.; Raza, A.; Hawrylak-Nowak, B.; Matraszek-Gawron, R.; Al Mahmud, J. & Fujita, M. (2020) - Selenium in plants: Boon or bane?. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 178, p. 104170. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104170>
- Havir, E. A. & McHale, N. A. (1987) - Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant physiology*, vol. 84, n. 2, p. 450-455, 1987. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>
- IPECE (2017) – *Perfil municipal 2017 Maracanaú*. Secretaria do Planejamento e Gestão (SEPLAG). Fortaleza: IPECE: SEPLAG, 2017. <
<https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2017/>>
- Ikram, M.; Raja, N. I.; Javed, B.; Hussain, M.; Hussain, M.; Ehsan, M. & Akram, A. (2020) - Foliar applications of bio-fabricated selenium nanoparticles to improve the growth of wheat plants under drought stress. *Green Processing and Synthesis*, vol. 9, n. 1, p. 706-714. <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0067>
- Kar, M. & Mishra, D. (1976) - Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology*, vol. 57, n. 2, p. 315-319. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>
- Karimi, R.; Ghabooli, M.; Rahimi, J. & Amerian, M. (2020) - Effects of foliar selenium application on some physiological and phytochemical parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Sultana under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 43, n. 14, p. 2226-2242. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1766072>

- Lanza, M. G. D. B. & Reis, A. R. (2021) - Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 164, p. 27-43. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.026>
- Nakano, Y. & Asada, K. (1981) - Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, vol. 22, n. 5, p. 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Nawaz, F.; Ahmad, R.; Ashraf, M. Y.; Waraich, E. A. & Khan, S. Z. (2015) - Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 113, p. 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.003>
- Nunes, F. H.; Gondim, F. A.; Freitas, V. S.; Braga, B. B.; Brito, P. O. B. D. & Martins, K. (2017) - Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. *Revista Ambiente & Água*, vol. 12, p. 71-86. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1964>
- Rahman, M.; Rahman, K.; Sathi, K. S.; Alam, M. M.; Nahar, K.; Fujita, M. & Hasanuzzaman, M. (2021) - Supplemental Selenium and Boron Mitigate Salt-Induced Oxidative Damages in *Glycine max* L. *Plants*, vol. 10, n. 10, p. 2224. <https://doi.org/10.3390/plants10102224>
- Rosado, C. C. G.; Sobreira, F. B. S.; Silva, F. D.; Souza, L. C. & Soares, T. C. B. (2018) - Genes candidatos e mecanismos fisiológicos relacionados ao estresse hídrico em plantas. In: CAUFES (Ed.) - *Tópicos Especiais em Genética e Melhoramento II*. Alegre, Espírito Santo, p. 115-143.

- Shen, Y.; Huang, H.; Wang, Y.; Yang, R. & Ke, X. (2022) - Antioxidant effects of Se-glutathione peroxidase in alcoholic liver disease. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 74, p. 127048. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.127048>
- Subramanyam, K.; Du Laing, G. & Van Damme, E. J. (2019) - Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. *Frontiers in plant science*, vol. 10, p. 116, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00116>
- Sousa, G. G.; Rodrigues, V. D. S.; Sales, J. R. S.; Cavalcante, F.; Silva, G. L. & Leite, K. N. (2018) - Estresse salino e cobertura vegetal morta na cultura do milho. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, vol. 12, n. 7, p. 3078-3089. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n700889>
- Tavares Filho, G. S.; Silva, D. F.; Lins, R. C.; Araújo, C. A. S.; Oliveira, F. F. & Matias, S. S. R. (2020) - Desenvolvimento de mudas de *Moringa oleífera* (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, n. 7, p. 48671-48683. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-493>
- Zahedi, S. M.; Moharrami, F.; Sarikhani, S. & Padervand, M. (2020) - Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. *Scientific reports*, vol. 10, n. 1, p. 1-18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74273-9>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos estudos realizados nesse trabalho, verificou-se que o selênio (Se) adicionado ao cultivo de plantas de girassol melhorou o crescimento das plantas tanto em condições controle (irrigado) como de estresse hídrico ou salino.

No primeiro experimento, realizou-se a análise comparativa entre diferentes doses e formas aplicação (pulverização foliar ou no substrato) de Se para o cultivo de girassol. Como resultado, as doses aplicadas no solo contendo $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenato de sódio, $0,8 \text{ mg L}^{-1}$, $3,3 \text{ mg L}^{-1}$, $6,7 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio não apresentaram efeitos tóxicos quando comparadas ao tratamento controle, equiparando-se estatisticamente na variável Massa Seca da Parte Aérea (MSPA). Já para a variável altura, plantas de girassol suplementadas com $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio no substrato apresentaram valores superiores aos demais tratamentos. Para os teores relativos de clorofila, destacaram-se as doses de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ e $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ de selenato no substrato e $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito no substrato. Para o diâmetro do caule e número de folhas, os tratamentos contendo selênio foram equivalentes ao controle.

No segundo experimento, foram testadas somente doses de selenato de sódio e selenito de sódio aplicadas diretamente no solo no cultivo de girassol. Nas condições experimentais utilizadas, o selênio promoveu melhorias nas atividades de enzimas antioxidativas e na massa seca da parte aérea de plantas de girassol. Em geral, o tratamento com concentração de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio superou o tratamento controle em todas as variáveis analisadas, sendo elas MSPA, Catalase (CAT), Peroxidase do Ascorbato (APX) e Peroxidase do Guaiacol (GPX). Quando comparado aos demais tratamentos contendo selênio, foi superior nas variáveis MSPA e APX.

No terceiro experimento, foram avaliadas as respostas do girassol a adição de selenito de sódio em condições controle, de estresse hídrico e de estresse salino. De maneira geral, as plantas de girassol acrescidas de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de selenito de sódio apresentaram aumento da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e na atividade das enzimas antioxidativas.

Perante o exposto, concluiu-se que a adição de selênio em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) pode promover efeitos positivos sobre o crescimento. Recomenda-se a utilização selenito de sódio na dosagem de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ no substrato. Ressalta-se que no presente trabalho a aplicação de selênio no cultivo das plântulas provou-se minimizador dos efeitos deletérios dos estresses hídrico e salino.

ANEXOS

Imagem 1. Publicação do artigo 1



Imagem 2. Comprovante de aceite do artigo 2

19/11/2022 17:34

Email - Gabriela Ferreira - Outlook

Decisão editorial

Brazilian Journal of Animal and Environment Research (BJAER) <editor.bjaer@brazilianjournals.com.br>

Qui, 17/11/2022 23:25

Para: aragaofg@yahoo.com.br <aragaofg@yahoo.com.br>; gabrieladesousaf@hotmail.com <gabrieladesousaf@hotmail.com>; elias.nascimento.sousa08@aluno.ifce.edu.br <elias.nascimento.sousa08@aluno.ifce.edu.br>; gabrielicarvalho990@gmail.com <gabrielicarvalho990@gmail.com>; tiago.abrlm@gmail.com <tiago.abrlm@gmail.com>

Prezado autor,

Foi tomada uma decisão do artigo Assessment of the effects of selenium application on leaves or substrate on the growth of sunflower plants* submetido na Brazilian Journal of Animal and Environmental Research.

A decisão é: ACEITAR.

No entanto, a revista não possui patrocínio, portanto, é solicitada a contribuição de R\$ 450,00 dos autores, por artigo no ato da publicação. A quantia solicitada, a qual pode ser realizada por Paypal (cartão de crédito), depósito ou transferência bancária, ou PIX, é destinada aos custos de diagramação, formatação e a manutenção da revista. O valor solicitado pode ser revisto na publicação de mais de um artigo.

Aceitando o convite, basta responder a este e-mail informando o interesse e o tipo de pagamento escolhido. As demais informações serão enviadas na sequência. Não há necessidade de formatar o artigo, a revista possui editores responsáveis para este fim.

A revista é de fluxo contínuo para recebimento e publicação dos artigos, portanto, assim que os artigos são formatados e diagramados, estarão disponíveis online.

Em caso de dúvidas, estou à disposição.

Darlane Cristina Catapan

Editora-Chefe

Brazilian Journal of Animal and Environment Research (BJAER)

Brazilian Journals

CNPJ 32.432.868/0001-57

Av. XV de Novembro, 2175, Sala 19, Comercial Center Celli, São José dos Pinhais/PR, Brasil

Whatsapp: (41) 99841-8595

Imagem 3. Comprovante de aceite do artigo 3

Result of Review

Article Title: Plant growth and antioxidative enzymes in sunflower supplemented with selenium

Corresponding Author(s): Franklin Gondim

Decision of Paper Selection

- ☐ A. Accept submission, no revisions required.
- ☒ B. Accept submission, revisions required; please revise the paper according to comments.
- ☐ C. Decline submission; you may revise and resubmit for review.
- ☐ D. Decline submission.

What should you do next? (Only for accepted papers, A & B)

- ✓ Revise the paper according to the comments (if applicable).
- ✓ All authors must agree on the publication; please inform us of agreement by e-mail.
- ✓ Pay the Article Processing Charge of 400.00USD for the paper.
 - ✧ Please find payment information at: <http://jas-pay.ccsenet.org>
 - ✧ Please notify the editorial assistant when payment has been made

Proposed Schedule for Publication (Only for accepted papers, A & B)

- ✓ Vol. 14, No. 12, December 2022, if you meet above requirements within 2 weeks.
- ✓ e-Version First: the online version may be published soon after the final draft is completed.
- ✓ You may also ask to publish the paper later, if you need more time for revision or payment.

Additional Information (Only for accepted papers, A & B)

- ✓ You may download your article in PDF at: <http://jas.ccsenet.org>
- ✓ You may contact us to request an e-book of the full issue in PDF, *free of charge*.
- ✓ To order print copies, please click "Order Hard Copies" on the journal's website.

Imagem 4. Comprovante de submissão do artigo 4

22/11/2022 06:12

Email – Gabriela Ferreira – Outlook

[RCA] Agradecimento pela submissão

Pedro Talhinhos <noreply@rcaap.pt>

Seg, 21/11/2022 23:56

Para: Gabriela de Sousa Ferreira <gabrieldesousaf@hotmail.com>; Paulo Ovidio Batista de Brito <paulobatistaengenharia@gmail.com>; Tiago de Abreu Lima <tiago.abrlm@gmail.com>; Francisco Ícaro Carvalho Aderaldo <icaroaderaldo16@gmail.com>; Gabrielli Teles de Carvalho <gabriellcarvalho990@gmail.com>; Elias do Nascimento de Sousa Filho <elias.nascimento.sousa08@aluno.ifce.edu.br>

Bom dia,

FRANKLIN ARAGÃO GONDIM submeteu o manuscrito, "Selênio em girassol sob estresse e atividade enzimática" à Revista de Ciências Agrárias.

Se tiver questões, por favor contacte-nos. Obrigado por considerar esta revista como meio de difusão do seu trabalho.

Pedro Talhinhos