

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 03/02/2023.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SILÍCIO COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DA  
SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA**

**Kolima Peña Calzada  
Engenheira Agrônoma**

**2021**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SILÍCIO COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DA  
SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA**

**Kolima Peña Calzada**

**Orientadora: Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão**

**Coorientador: Prof. Dr. Renato de Melo Prado**

**Prof. Dr. Dilier Olivera Vicedo**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia, (Produção Vegetal).

C171s	<p>Calzada, Kolima Peña</p> <p><b>SILÍCIO COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DA SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA / Kolima Peña Calzada. --</b></p> <p>Jaboticabal, 2021</p> <p>84 p.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientadora: PRISCILA LUPINO GRATÃO</p> <p>Coorientador: RENATO DE MELLO PRADO DILIER OLIVERA VICIEDO</p> <p>1. Agronomia. 2. Ciências agrícolas. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: SILÍCIO COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DA SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA


**AUTORA: KOLIMA PEÑA CALZADA**


**ORIENTADORA: PRISCILA LUPINO GRATÃO**


**COORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO**

**COORIENTADOR: DILIER OLIVERA VICIEDO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. PRISCILA LUPINO GRATÃO (Participação Virtual)   
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE (Participação Virtual)   
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RAFAEL FERREIRA BARRETO (Participação Virtual)   
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul/UFMS / Chapadão do Sul/MS

Profa. Dra. LUCIANA MARIA SARAN (Participação Virtual)   
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. MARISA DE CÁSSIA PICCOLO (Participação Virtual)   
Laboratório de Ciclagem de Nutrientes / CENA / USP - Piracicaba/SP

Jaboticabal, 03 de agosto de 2021

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

Kolima Peña Calzada, nasceu na cidade de Trinidad, Cuba em 23 de maio de 1980. Em setembro de 1998 ingressou na Universidade Central Marta Abreu das Villas, graduando-se em Engenharia Agrônômica em julho de 2003. Em 2004 começou como professora na universidade de Sancti Spíritus José Martí Pérez em Cuba. Em março de 2007 iniciou o curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação Agricultura Sustentável na Universidade de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Cuba, submetendo-se a defesa da dissertação em 2009. Em agosto de 2018 iniciou o curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Jaboticabal – SP, submetendo-se a defesa da tese em 3 de agosto de 2021. Até a data é autora e coautora de 39 artigos completos publicados em periódicos, e vários trabalhos completos e resumos expandidos publicados em anais de congressos. É revisora de três periódicos e foram outorgados 13 prêmios durante sua trajetória como professora. Foi orientadora de 25 trabalhos de conclusão de curso (TCC) e vários estudantes orientados por ela, foram premiados.

***“Destino não é questão de Sorte  
destino é questão de Escolha”***

**William Jennings Bryan**

## DEDICO

A minha mãe Mayra E. Calzada Arbolaez por sempre iluminar minha caminhada pela vida me dando carinho apoio e compreensão em cada momento que precisei, não deixando desistir mesmo diante das dificuldades encontradas ao longo de toda essa minha trajetória. Ela falou “vai filha vai para o Brasil, eu fico aqui com a sua família”. Obrigada mãe por estar presente sempre, pelo aprendizado da vida que deu para mim. Você lutou, mas não conseguiu vencer esta pandemia que chegou para tirar a felicidade das pessoas, mas eu sei mãe que está me olhando, me cuidando e sempre vai ser minha inspiração na vida.

A meu pai Norberto Peña Peña pelo carinho, apoio e todo o aprendizado de seu lado a vida toda. A meu esposo Juan Calos Rodríguez pela ajuda e compreensão para que eu pudesse chegar até aqui e pelo carinho de muitos anos. A meus filhos José Alberto Serafín Peña e Gabriela Rodríguez Peña que são o bem mais importante que eu posso ter na minha vida. A meu irmão Iván Peña pela ajuda para que eu chegasse até aqui, pela companhia nestes últimos meses que minha mãe não esteve, se não fosse pela força que ele me deu, tinha ficado pior ainda.

A meus amigos Dilier Olivera e Alexander Calero pelo carinho, apoio e ajuda em tudo o que eu precisei.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, ao qual faço parte, e ao Departamento de Biologia Aplicada a Agropecuária pela parte da infraestrutura disponibilizada.

A Unesp, câmpus de Jaboticabal, por ter me proporcionado a oportunidade de aperfeiçoar cada vez mais na minha carreira acadêmica.

A Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão, pela orientação, pelo aprendizado durante todos esses anos e pela amizade.

A Prof. Dr. Renato de Melo Prado pela orientação, pelo aprendizado e ajuda desde planejamento até a finalização do experimento.

A Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva pela ajuda e a compressão.

A minha família em especial a meu esposo Juan Carlos Rodríguez e meus filhos José Alberto y Grabiela. A meus irmãos, primas e tios por sempre se fazerem presente em minha vida, por serem minha base e o meu alicerce.

A meu amigo Dilier Olivera pela ajuda para que eu pudesse chegar até aqui. Também pela ajuda nos experimentos e em tudo o que eu precisei desde que cheguei ao Brasil.

A meu amigo Alexander Calero pela ajuda nos experimentos e em tudo o que eu precisei, sempre disposto para me ajudar.

A Daymi Salas e seus filhos Diliercito e Melany pelo carinho.

A Nilda pela amizade, apoio e companhia em toda esta caminhada.

A meus amigos (as) Lucas, Mariana, Livia, Luis, Gabriela, Thiago, Solange, Cassia, João, Reginaldo, Clebson, Marcos, Bianca, Luis, Vinicius, Jonhatan, Vitor, pela amizade e por sempre se fazerem presentes tanto em momentos bons quanto não tão bons nessa minha trajetória.

A Técnica Sônia M. R. Carregari, por ter me acolhido e ter feito me sentir como membro de sua família, dedicando amor e carinho e por ter sido um grande apoio técnico durante todos esses anos de UNESP.

Aos colegas do laboratório de Fisiologia Vegetal e das disciplinas por todo esse tempo de convívio e divisão de conhecimentos.

A todos, mesmo que não estejam aqui citados que, direta ou indiretamente, colaboraram com este trabalho e com minha formação.

MUITO OBRIGADA

## SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Salinidade do solo	3
2.2 Espécies reativas de oxigênio (ERO)	5
2.3 Mecanismos de defesa da planta ao estresse salino	6
2.4 Silício como atenuante do estresse salino	8
2.5 Soja: generalidades e importância	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Condições de cultivo e material vegetal	11
3.2 Delineamento experimental	11
3.3 Concentrações de NaCl e Si	12
3.4 Coleta e armazenamento do material	13
3.5 Parâmetros avaliados	13
3.5.1 Fotossíntese (F), transpiração (T) e condutância estomática (CE)	14
3.5.2 Eficiência quântica (Fv/Fm) e fotoquímica do fotossistema II (FV/F0)	14
3.5.3 Clorofila e carotenoides	14
3.5.4 Conteúdo relativo de água (CRA) e eficiência do uso da água (EUA)	15
3.5.5 Caracterização do estresse oxidativo	15
3.5.6 Extração e quantificação de proteínas solúveis totais	16
3.5.7 Atividade da superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1)	16
3.5.8 Atividade da glutaciona peroxidase (GPOX, EC 1.11.1.9)	16

3.5.9 Atividade da ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11)	17
3.5.10 Conteúdo de Prolina livre	17
3.5.11 Determinação dos teores e acúmulos de Si, Na e K	17
3.5.12 Determinação dos parâmetros de crescimento: massa seca e área foliar	18
3.6 Análise estatística	18
4. RESULTADOS	18
4.1 Fotossíntese (F), transpiração (T) e condutância estomática (CE)	18
4.2 Eficiência quântica (Fv/Fm) e fotoquímica (FV/F0) do fotossistema II	21
4.3 Clorofila e carotenoides	22
4.4 Conteúdo relativo de água (CRA) e eficiência do uso da água (EUA)	24
4.5 Caracterização do estresse oxidativo: conteúdo de malondialdeído (MDA)	26
4.6 Atividade antioxidante enzimática	28
4.7 Concentração de Prolina livre	30
4.8 Acúmulo de Si, Na <sup>+</sup> e K <sup>+</sup>	31
4.9 Parâmetros de crescimento: massa seca e área foliar	36
5. DISCUSSÃO	39
6. CONCLUSÃO	47
7. REFERÊNCIAS	47

## SILÍCIO COMO ATENUANTE DOS EFEITOS DA SALINIDADE EM PLANTAS DE SOJA

**RESUMO** - O cultivo da soja em diferentes regiões do mundo tem sido ampliado em solos salinos resultando em danos fisiológicos na planta que podem ser atenuados pelo silício (Si). Entretanto, as pesquisas são escassas para culturas consideradas acumuladoras intermediárias deste elemento benéfico. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do Si sob diferentes formas de aplicação nas respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de soja cultivar M-Soy 8222, submetidas à salinidade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3 com cinco repetições, sendo quatro formas de aplicação de silício (Si): controle (0 Si); 20 mmol L<sup>-1</sup> Si via pulverização foliar (F); 2,0 mmol L<sup>-1</sup> Si via radicular por solução nutritiva (R), a combinação das duas formas (F+R) combinados com três concentrações de NaCl (0, 50 e 100 mmol L<sup>-1</sup>). Os parâmetros trocas gasosas, fluorescência de clorofila, quantidade de pigmentos, conteúdo relativo da água, eficiência do uso da água, assim como conteúdo de malondialdeído (MDA), prolina, atividade antioxidante, acúmulos de Si, sódio (Na) e potássio (K) e crescimento, foram avaliados. A salinidade sem Si provocou danos fisiológicos e bioquímicos nas plantas de soja diminuindo a fotossíntese, o conteúdo e a eficiência do uso da água e conseqüentemente, o crescimento. Por outro lado, os resultados indicaram que o Si em todos os modos de aplicação desempenha papel na atenuação dos efeitos negativos do estresse salino através do aumento da fotossíntese redução da peroxidação lipídica, assim como, o aumento do conteúdo relativo de água, eficiência do uso da água, clorofila total e carotenoides, teor de prolina e atividade antioxidante, culminando com melhor crescimento das plantas. Assim, o tratamento com Si na forma radicular e combinada, pode ser uma estratégia de manejo eficiente para atenuar os efeitos deletérios do sal por aumentar a tolerância de plantas de soja sob condições de salinidade. Dentre os modos de aplicação, o uso de Si R e a aplicação de Si combinada (R+F) são as formas mais eficientes de manejo que podem ser usadas para aliviar os efeitos deletérios e aumentar a tolerância das plantas de soja em condições de estresse salino.

**Palavras chave:** aplicação exógena, atenuante, estresse abiótico, *Glycine max*

## SILICON AS A MITIGANT OF THE EFFECTS OF SALINITY IN SOYBEAN PLANTS

**ABSTRACT** - Soybean cultivation in different regions of the world has been expanded in saline soils resulting in physiological damage to the plant that can be mitigated by silicon (Si). However, research is scarce for cultures considered intermediate accumulators of this beneficial element. Thus, the present work aimed to evaluate the effect of Si under different forms of application on physiological and biochemical responses in soybean plants, cultivar M-Soy 8222, submitted to salinity. The experimental design was completely randomized, in a 4 x 3 factorial scheme with five replications, with four forms of silicon application (Si): control (0 Si); 20 mmol L<sup>-1</sup> Si via foliar spray (F); 2.0 mmol L<sup>-1</sup> Si via root by nutrient solution (R), the combination of the two forms (F+R) combined with three concentrations of NaCl (0, 50 and 100 mmol L<sup>-1</sup>). Parameters gas exchange, chlorophyll fluorescence, amount of pigments, relative water content, water use efficiency, as well as malondialdehyde (MDA), proline, antioxidant activity, accumulations of Si, sodium (Na) and potassium (K) ) and growth were evaluated. Salinity without Si caused physiological and biochemical damage to soybean plants, decreasing photosynthesis, water content and efficiency of water use, and consequently, growth. On the other hand, the results indicated that Si in all modes of application plays a role in mitigating the negative effects of salt stress through increased photosynthesis, reduced lipid peroxidation, as well as increased relative water content, efficiency of use of water, total chlorophyll and carotenoids, proline content and antioxidant activity, culminating in better plant growth. Thus, treatment with Si in root and combined form can be an efficient management strategy to mitigate the deleterious effects of salt by increasing the tolerance of soybean plants under salinity conditions. Among the application modes, the use of Si R and the combined Si application (R+F) are the most efficient forms of management that can be used to alleviate the deleterious effects and increase the tolerance of soybean plants under stress conditions saline.

**Keywords:** exogenous application, attenuating, abiotic stress, Glycine max

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>Páginas</b>
1. Dados de temperatura e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação durante o período experimental.	12
2. Fotossíntese (A), transpiração (B), condutância estomática (C) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino.	20
3. Eficiência quântica (Fv/Fm) (A) e fotoquímica (Fv/Fo) (B) do fotossistema II ( $\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino.	22
4. Clorofila total (A) e carotenoides (B) nas folhas de plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino.	23
5. Conteúdo relativo de água (CRA) (A) e eficiência do uso da água (B) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino.	25
6. Conteúdo de malondialdeído (MDA) nas folhas (A) e raiz (B) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino.	27
7. Atividade específica da SOD (A), atividade específica da GPOX (B), atividade específica da APX (C) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino.	29
8. Teor de prolina nas folhas (A) e na raiz (B) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar	31

- (SiR+SiF) sob estresse salino.
9. Acúmulo de Si na parte aérea (PA) e raiz (B) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz na solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino. 33
  10. Acúmulo de Na<sup>+</sup> parte aérea (A) e raiz (B) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino. 34
  11. Acúmulo de K<sup>+</sup> parte aérea (A) e raiz (B) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino. 35
  12. Massa seca das folhas (A), caule (B) e raiz (C) (g planta<sup>-1</sup>) em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino. 37
  13. Área foliar em plantas de soja cultivadas na ausência de Si (Si0) e com Si aplicado via raiz na solução nutritiva (SiR), foliar (SiF) e via raiz solução nutritiva + foliar (SiR+SiF) sob estresse salino. 39

**LISTA DE ABREVIATURAS**

1. APX – Ascorbato peroxidase omtem
2. CRA – Conteúdo relativo de água
3. CE – Condutância estomática
4. ERO – Espécies reativas de oxigênio
5. EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético
6. EUA – Eficiência no uso da água
7. F – Fotossínteses
8. GPOX – Glutaciona peroxidase
9. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – Peróxido de hidrogênio
10. MDA – Malondialdeído
11. MF – Massa fresca
12. MT – Massa túrgida
13. MS – Massa seca
14. NBT – Cloreto de nitrotetrazólio azul
15. NADPH – Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato reduzida
16. T – Transpiração
17. TCA – Ácido tricloroacético
18. TBA – Ácido tiobarbitúrico
19. TBARS – teor de substâncias reativas ao ácido MDA
20. PA – Parte aérea
21. pH – Potencial Hidrogeniônico
22. PVPP – Polivinilpirrolidona
23. TBA - Ácido tiobarbitúrico
24. PL– Prolina livre
25. SOD – Superóxido dismutase
26. SiF – Aplicação de silício foliar
27. SiR – Aplicação de silício radicular
28. SiF+R – Aplicação de silício foliar + radicular

## 1. INTRODUÇÃO

A segurança alimentar global depende da produção de alimentos e o aumento dos rendimentos dos cultivos é necessário para estabilizar sua produção e demanda (MAJEED; MUHAMMAD, 2019). A necessidade de melhorar a produção agrícola tem sido mais emergente nos últimos anos devido à expansão da população, que ultrapassará 9,7 bilhões em 2050 (MAJEED; MUHAMMAD, 2019). Simultaneamente ao aquecimento global, vários estresses reduzem a produtividade das safras agrícolas (SOLIMAN et al., 2018) com destaque à salinidade reconhecida como um dos principais fatores restritivos ao crescimento e à produtividade das culturas, principalmente em regiões áridas e semiáridas (ELKEILSH et al., 2019).

Nas regiões salinas, há pouca ocorrência de chuvas e deficiências naturais de drenagem, com redução anual próxima de 1 a 2 % das áreas adequadas para a agricultura (RASOOL et al., 2012), atingindo um terço das terras cultivadas do mundo (BHARGAVA; SRIVASTAVA, 2020). O estresse salino ocorre devido ao acúmulo de altos teores de sais no solo, comprometendo o crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas (ABDELAAL et al., 2019), devido às mudanças nas respostas fisiológicas e vias bioquímicas nas plantas (CALERO HURTADO et al., 2020) diminuindo a área foliar, a fotossíntese e a transpiração (AL MURAD; KHAN; MUNEEB, 2020).

Outro efeito importante é o aumento da produção das espécies reativas de oxigênio (ERO), devido à desestabilização da homeostase celular, causando danos às proteínas, DNA e lipídios (ALVES et al., 2018; ELHAMID; SADAK; TAWFIK, 2014; SHARMA et al., 2012b). A redução das ERO ocorre pela ação do sistema de defesa antioxidante composto por enzimas e compostos não enzimáticos que mantêm o status redox celular (ELHAMID; SADAK; TAWFIK, 2014; GRATÃO et al., 2015).

Os danos fisiológicos da salinidade nos cultivos variam com as espécies, sendo a cultura da soja considerada moderadamente tolerante à salinidade (BUSTINGORRI; LAVADO, 2011). Embora seja uma das três principais culturas mais importantes do mundo (BELLALLOUI et al., 2013; WAQAS et al., 2014), o

crescimento e a produtividade são adversamente afetados pelo estresse salino. Alguns estudos referentes ao mecanismo de tolerância à salinidade relatam vários genes-chave relacionados ao estresse salino na soja, embora esses relatos tenham melhorado a compreensão das respostas genéticas e fisiológicas da soja ao estresse salino, as estratégias de manejo destinadas a atenuar os efeitos do estresse salino na soja mostraram pouco sucesso, apesar de vários mecanismos relatados (KIM et al., 2015; LIU et al., 2016; SHU et al., 2017).

Neste contexto, a utilização exógena de substâncias que estimulem e/ou fortaleçam os sistemas de defesa se faz necessária, de modo a garantir não um aumento da produção, mas que dentro de certos parâmetros, as plantas consigam produzir satisfatoriamente se comparadas as demais sob condições de estresse abiótico (AHMAD et al., 2017; OLIVERA VICIEDO et al., 2017, 2020; VICIEDO et al., 2019).

Estudos recentes demonstraram que dentre estas substâncias, o silício (Si) exibe efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas, inigualáveis por qualquer outro elemento não essencial (FREW et al., 2018). As plantas diferem na capacidade de absorver o Si, que pode ser absorvido tanto de forma ativa, quanto passivamente, dependendo da sua concentração externa e da presença de transportadores. (LIANG et al., 2007). Plantas pertencentes às famílias Poaceae, Equisetaceae, Ciperaceae e as Gramineae, são acumuladoras porque apresentam teores de Si nas folhas acima de 3 % de sua massa seca (DESHMUKH; MA; BÉLANGER, 2017) O teor de Si é baixo em leguminosas, como a soja, uma vez que estas apresentam mecanismos de exclusão, sendo classificada como acumuladora intermediária de Si, 0,5 % – 1,5 % (KHAN et al., 2019).

O fornecimento do Si aumenta a absorção e conteúdo de água nas plantas, o teor de prolina (AHMAD et al., 2019a; CALERO HURTADO et al., 2019) e reduz a peroxidação lipídica, pela eliminação das ERO através da modulação do sistema antioxidante de resposta (COSKUN et al., 2019; ROBATJAZI; ROSHANDEL; HOOSHMAND, 2020). Além disso, o Si aumenta a taxa de transpiração da parte aérea e características morfológicas das raízes (YAN et al., 2020).

O fornecimento de Si pode ocorrer tanto via foliar quanto via solução nutritiva pela raiz, sendo que a primeira pode atenuar os efeitos adversos da salinidade relatados em plantas acumuladoras do Si, como o trigo (SATTAR et al., 2017, 2018)

e em não acumuladoras, como o quiabo (ABBAS et al., 2015a, 2017a). A segunda via tem sido a mais empregada para atenuação do estresse salino em plantas acumuladoras e não acumuladoras (ALSAEEDI et al., 2019; CALERO HURTADO et al., 2019; KHAN et al., 2018).

Dentre os atenuantes, o Si é um elemento que potencializa as respostas do vegetal ao estresse salino em plantas de soja pela redução da peroxidação lipídica e a produção de ERO (FARHANGI-ABRIZ; TORABIAN, 2018). Em sistema hidropônico, a aplicação deste elemento aumenta a biomassa seca e o conteúdo de clorofila (LEE et al., 2010). Além disso, a aplicação de Si foliar e radicular e em mistura com fertilizantes proporciona aumentos na fotossíntese líquida, na taxa de transpiração e condutância estomática em soja (TRIPATHI; NA; KIM, 2021).

Esses efeitos benéficos do Si são restritos ao fornecimento via radicular e foliar e ao  $(\text{Na}_2\text{SiO}_3)$ , sendo escassos os relatos da aplicação de Si na forma  $(\text{K}_2\text{SiO}_3)$  em soja, assim como os estudos da aplicação combinada entre as via radicular e foliar. O conhecimento da melhor estratégia de fornecimento de Si em ambiente salino que possa minimizar os aspectos fisiológicos e bioquímicos pode favorecer o crescimento de espécies quanto à habilidade na absorção de Si (CALERO HURTADO et al., 2019).

Neste sentido, hipotetizamos que o Si dependendo do modo de aplicação pode atenuar os danos causados pela salinidade devido à redução da peroxidação lipídica, aumento da fotossíntese, clorofilas totais e carotenoides, conteúdo relativo de água, eficiência do uso da água, assim como o aumento da atividade enzimática antioxidante e equilíbrio na distribuição do silício, sódio e potássio nas raízes e a parte aérea da planta de soja.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação do Si em diferentes formas de aplicação nas respostas fisiológicas, bioquímicas e nutricionais em plantas de sojas sob estresse salino.

## 6. CONCLUSÃO

O uso de Si pode ser uma estratégia de manejo eficiente para aliviar os efeitos deletérios do sal através de respostas desencadeadas por mecanismos fisiológicos e bioquímicos, induzindo tolerância nas plantas de soja. Dentre os modos de aplicação, o uso de Si R e a aplicação de Si combinada (R+F) são as formas mais eficientes de manejo que podem ser usadas para aliviar os efeitos deletérios e aumentar a tolerância das plantas de soja em condições de estresse salino.

## 7. REFERÊNCIAS

ABBAS, T.; BALAL, R. M.; SHAHID, M. A.; PERVEZ, M. A.; AYYUB, C. M.; AQUEEL, M. A.; JAVAID, M. M. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 1–15, 2015. a.

ABBAS, T.; MUKHTAR, R.; MUHAMMAD, B. •; SHAHID, A.; MUHAMMAD, •; PERVEZ, A.; CHAUDHARY, •; AYYUB, M.; AQUEEL, A.; JAVAID, M. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta Physiologiae**, [s. l.], 2015. b.

Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11738-014-1768-5.pdf>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

ABBAS, T.; SATTAR, A.; IJAZ, M.; AATIF, M.; KHALID, S.; SHER, A. Exogenous

silicon application alleviates salt stress in okra. **Horticulture Environment and Biotechnology**, [s. l.], v. 58, n. 4, p. 342–349, 2017. a.

ABDALLA, M. M. Impact of diatomite nutrition on two *Trifolium alexandrinum* cultivars differing in salinity tolerance. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 3, n. 13, p. 233–246, 2011. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/ijppb>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

ABDEL LATEF, A. A. H.; MOSTOFA, M. G.; RAHMAN, M. M.; ABDEL-FARID, I. B.; TRAN, L. S. P. Extracts from Yeast and Carrot Roots Enhance Maize Performance under Seawater-Induced Salt Stress by Altering Physio-Biochemical Characteristics of Stressed Plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 966–979, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00344-018-9906-8>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

ABDEL LATEF, A. A. H.; SRIVASTAVA, A. K.; EL-SADEK, M. S. A.; KORDROSTAMI, M.; TRAN, L. S. P. Titanium Dioxide Nanoparticles Improve Growth and Enhance Tolerance of Broad Bean Plants under Saline Soil Conditions. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 1065–1073, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2780>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ABDEL LATEF, A. A.; TRAN, L.-S. P. Impacts of Priming with Silicon on the Growth and Tolerance of Maize Plants to Alkaline Stress. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 7, n. MAR2016, p. 243, 2016. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2016.00243/abstract>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

ABDELAAL, K. A. A.; MAZROU, Y. S. A.; HAFEZ, Y. M. Silicon Foliar Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water Status, Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. **Plants**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 733, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2223-7747/9/6/733>>. Acesso em: 6 fev. 2021.

ABDELAAL, K. A.; EL-MAGHRABY, L. M.; ELANSARY, H.; HAFEZ, Y. M.; IBRAHIM, E. I.; EL-BANNA, M.; EL-ESAWI, M.; ELKELISH, A. Treatment of Sweet Pepper with Stress Tolerance-Inducing Compounds Alleviates Salinity Stress Oxidative Damage by Mediating the Physio-Biochemical Activities and Antioxidant Systems. **Agronomy**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 26, 2019. Disponível em: <

4395/10/1/26>. Acesso em: 7 fev. 2021.

AHANGER, M. A.; AZIZ, U.; ALSAHLI, A. A.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate- glutathione cycle in salt stressed vigna angularis. **Biomolecules**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 42, 2020. a. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/biomolecules](http://www.mdpi.com/journal/biomolecules)>. Acesso em: 20 jun. 2021.

AHANGER, M. A.; MIR, R. A.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Combined effects of brassinosteroid and kinetin mitigates salinity stress in tomato through the modulation of antioxidant and osmolyte metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 147, p. 31–42, 2020. b.

AHMAD, B. Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. **Journal of Integrative Agriculture**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 1889–1899, 2014.

AHMAD, P.; AHANGER, M. A.; ALAM, P.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; ALI, S.; ASHRAF, M. Silicon (Si) Supplementation Alleviates NaCl Toxicity in Mung Bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] Through the Modifications of Physio-biochemical Attributes and Key Antioxidant Enzymes. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 70–82, 2019. a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00344-018-9810-2>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

AHMAD, P.; AHANGER, M. A.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; ALAM, P.; ASHRAF, M. Mitigation of sodium chloride toxicity in solanum lycopersicum l. By supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. **Journal of Plant Interactions**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 64–72, 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tjpi20>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

AHMAD, P.; AHANGER, M. A.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; EGAMBERDIEVA, D.; BHARDWAJ, R.; ASHRAF, M. Zinc application mitigates the adverse effects of NaCl stress on mustard [ *Brassica juncea* (L.) Czern & Coss] through modulating compatible organic solutes, antioxidant enzymes, and flavonoid content. **Journal of Plant Interactions**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 429–437, 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2017.1385867>>. Acesso em: 8 fev. 2021.

AHMAD, P.; OZTURK, M.; SHARMA, S.; GUCEL, S. Effect of sodium carbonate-

induced salinity-alkalinity on some key osmoprotectants, protein profile, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in two mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. **Journal of Plant Interactions**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 460–467, 2014.

AL MURAD, M.; KHAN, A. L.; MUNEER, S. Silicon in Horticultural Crops: Cross-talk, Signaling, and Tolerance Mechanism under Salinity Stress. **Plants**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 460, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2223-7747/9/4/460>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

ALI, S.; FAROOQ, M. A.; YASMEEN, T.; HUSSAIN, S.; ARIF, M. S.; ABBAS, F.; BHARWANA, S. A.; ZHANG, G. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 89, p. 66–72, 2013.

ALI, S.; RIZWAN, M.; HUSSAIN, A.; ZIA UR REHMAN, M.; ALI, B.; YOUSAF, B.; WIJAYA, L.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Silicon nanoparticles enhanced the growth and reduced the cadmium accumulation in grains of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 140, p. 1–8, 2019.

ALOMRAN, A. M.; AL-HARBI, A. A. R.; WAHB-ALLAH, M. A.; ALWABEL, M. A.; NADEEM, M. E. A.; AL-ETER, A. **Management of Irrigation Water Salinity in Greenhouse Tomato Production under Calcareous Sandy Soil and Drip Irrigation**. **J. Agr. Sci. Tech.** [s.l: s.n.].

ALSAEEDI, A.; EL-RAMADY, H.; ALSHAAL, T.; EL-GARAWANY, M.; ELHAWAT, N.; AL-OTAIBI, A. Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 139, p. 1–10, 2019.

ALVES, R. de C.; DE MEDEIROS, A. S.; NICOLAU, M. C. M.; OLIVEIRA, F. de A.; LIMA, L. W.; AROUCHA, E. M. M.; GRATÃO, P. L. Influence of partial root-zone saline irrigation management on tomato yield and fruit quality from a potted-plant study. **HortScience**, [s. l.], v. 53, n. 9, p. 1326–1331, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/188166>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

ALVES, R.; REZENDE, L. S.; DÓRIA, J.; SOARES, R.; OLIVEIRA, H.; SANTOS, D.; PASQUAL, M.; ALVES BRAGA JUNIOR, R.; OLIVEIRA REIS, R.; RODRIGUES, F. A.; RAMOS, J. D. Effects of silicon on antioxidant enzymes, CO<sub>2</sub>, proline and biological activity of in vitro-grown cape gooseberry under salinity stress. **AJCS**, [s. l.], v. 11, n. 04, p. 1835–2707, 2017.

ANDERSON, J. V.; DAVIS, D. G. Abiotic stress alters transcript profiles and activity of glutathione S-transferase, glutathione peroxidase, and glutathione reductase in *Euphorbia esula*. **Physiologia Plantarum**, [s. l.], v. 120, n. 3, p. 421–433, 2004. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15032839/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

APEL, K.; HIRT, H. **Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction**, Annual Reviews, 2004. Disponível em: <[www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

ASHRAF, M.; RAHMATULLAH; AFZAL, M.; AHMED, R.; MUJEEB, F.; SARWAR, A.; ALI, L. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Plant and Soil**, [s. l.], v. 326, n. 1, p. 381–391, 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0019-9>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

BATAGLIA, O.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., FURLANI, A.M.C., GALLO, J.R. 1978. Métodos de análise química de plantas, 1st ed. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.

BARBOSA, J.; MALDONADO, W. **Experimentação agrônômica e AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos** Departamento de Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista (UNESP. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?hl=en&publication\\_year=2015&author=J+Barbosa&author=J+Maldonado&title=Experimentação+agrônômica+e+AgroEstat%3A+sistema+para+análises+estatísticas+de+ensaios+agrônômicos](https://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2015&author=J+Barbosa&author=J+Maldonado&title=Experimentação+agrônômica+e+AgroEstat%3A+sistema+para+análises+estatísticas+de+ensaios+agrônômicos)>. Acesso em: 9 fev. 2021.

BARRS, H.; WEATHERLEY, P. A Re-Examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficits in Leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 413, 1962. Disponível em: <<https://www.publish.csiro.au/bi/bi9620413>>. Acesso em: 8 fev. 2021.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 205–207, 1973.

BELLALLOUI, N.; HU, Y.; MENGISTU, A.; KASSEM, M. A.; ABEL, C. A. Effects of foliar boron application on seed composition, cell wall boron, and seed  $\delta^{15}\text{N}$  and

$\delta^{13}\text{C}$  isotopes in water-stressed soybean plants. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 4, n. JUL, p. 270, 2013. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2013.00270/abstract>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

BHARGAVA, A.; SRIVASTAVA, S. Response of *Amaranthus* sp. to Salinity Stress: A Review. In: [s.l.] : Springer, Cham, 2020. p. 245–263.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**. [s.l.] : Springer Netherlands, 1993. p. 193–206.

BONOMELLI, C.; CELIS, V.; LOMBARDI, G.; MÁRTIZ, J. Salt stress effects on avocado (*persea americana* mill.) plants with and without seaweed extract (*ascophyllum nodosum*) application. **Agronomy**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 64, 2018. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/agronomy](http://www.mdpi.com/journal/agronomy)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BOSE, J.; RODRIGO-MORENO, A.; LAI, D.; XIE, Y.; SHEN, W.; SHABALA, S. Rapid regulation of the plasma membrane  $\text{H}^+$ -ATPase activity is essential to salinity tolerance in two halophyte species, *Atriplex lentiformis* and *Chenopodium quinoa*. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 115, n. 3, p. 481–494, 2015. Disponível em: <[www.aob.oxfordjournals.org](http://www.aob.oxfordjournals.org)>. Acesso em: 27 jun. 2021.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, [s. l.], v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976.

BUSTINGORRI, C.; LAVADO, R. S. Soybean growth under stable versus peak salinity. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 68, n. 1, p. 102–108, 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162011000100015&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162011000100015&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 2 mar. 2021.

CAFFARRI, S.; TIBILETTI, T.; JENNINGS, R.; SANTABARBARA, S. A Comparison Between Plant Photosystem I and Photosystem II Architecture and Functioning. **Current Protein & Peptide Science**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 296–331, 2014. Disponível em: <<http://www.eurekaselect.com/openurl/content.php?genre=article&issn=1389-2037&volume=15&issue=4&spage=296>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

CALERO HURTADO, A.; APARECIDA CHICONATO, D.; DE MELLO PRADO, R.; DA SILVEIRA SOUSA JUNIOR, G.; FELISBERTO, G. Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. **Plant**

**Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 142, p. 224–233, 2019.

CALERO HURTADO, A.; CHICONATO, D. A.; PRADO, R. de M.; SOUSA JUNIOR, G. da S.; GRATÃO, P. L.; FELISBERTO, G.; OLIVERA VICIEDO, D.; MATHIAS DOS SANTOS, D. M. Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 203, p. 110964, 2020.

CASSIA, R.; NOCIONI, M.; CORREA-ARAGUNDE, N.; LAMATTINA, L. **Climate change and the impact of greenhouse gasses: CO<sub>2</sub> and NO, friends and foes of plant oxidative stress**, Frontiers Media S.A., 2018. Disponível em: <[www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)>. Acesso em: 27 jun. 2021.

CHAUDHARY, A.; SINGH, A.; SENGAR, R. S. ANTIOXIDANT ACTIVITY IN RICE UNDER SALINITY STRESS : AN OVERVIEW. [s. l.], v. 15, n. 1, p. 7–13, 2015.

CHHABRA, R. **Soil salinity and water quality**. [s.l.] : CRC Press, 2017. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/soil-salinity-water-quality-ranbir-chhabra/10.1201/9780203739242>>. Acesso em: 25 fev. 2021.

CHUNG, Y. S.; KIM, K.-S.; HAMAYUN, M.; KIM, Y. Silicon Confers Soybean Resistance to Salinity Stress Through Regulation of Reactive Oxygen and Reactive Nitrogen Species. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 10, p. 1, 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2019.01725/full>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

COSKUN, D.; DESHMUKH, R.; SONAH, H.; MENZIES, J. G.; REYNOLDS, O.; MA, J. F.; KRONZUCKER, H. J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, [s. l.], v. 221, p. 67–85, 2019.

DE AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; ABREU, C. E. B. De; GOMES-FILHO, E. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. 87–94, 2006.

DESHMUKH, R. K.; MA, J. F.; BÉLANGER, R. R. **Editorial: Role of silicon in plants**, Frontiers Media S.A., 2017. Disponível em: <[www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

ELHAMID, E. M. A.; SADAK, M. S.; TAWFIK, M. M. Alleviation of Adverse Effects of Salt Stress in Wheat Cultivars by Foliar Treatment with Antioxidant 2—Changes in Some Biochemical Aspects, Lipid Peroxidation, Antioxidant Enzymes and Amino

Acid Contents. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 05, n. 13, p. 1269–1280, 2014. Disponível em:

<<http://www.scirp.org/journal/as><http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.513135><http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.513135><http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

ELKEILSH, A.; AWAD, Y. M.; SOLIMAN, M. H.; ABU-ELSAOUD, A.; ABDELHAMID, M. T.; EL-METWALLY, I. M. Exogenous application of  $\beta$ -sitosterol mediated growth and yield improvement in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) involves up-regulated antioxidant system. **Journal of Plant Research**, [s. l.], v. 132, n. 6, p. 881–901, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10265-019-01143-5>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

EMBRAPA. Limpeza de Areia para Experimentos em Nutrição de Plantas. [s. l.], n. 232, p. 1–5, 2018.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 50, p. 641–664, 1999. Disponível em: <[www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. **Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants**, Academic Press, 2018.

ETESAMI, H.; NOORI, F. Soil Salinity as a Challenge for Sustainable Agriculture and Bacterial-Mediated Alleviation of Salinity Stress in Crop Plants. In: **Saline Soil-based Agriculture by Halotolerant Microorganisms**. [s.l.] : Springer Singapore, 2019. p. 1–22.

EVANS, J. R. **Improving photosynthesis**, American Society of Plant Biologists, 2013. Disponível em: <[www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.113.219006](http://www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.113.219006)>. Acesso em: 31 jan. 2021.

FAHAD, S.; HUSSAIN, S.; MATLOOB, A.; KHAN, F. A.; KHALIQ, A.; SAUD, S.; HASSAN, S.; SHAN, D.; KHAN, F.; ULLAH, N.; FAIQ, M.; KHAN, M. R.; TAREEN, A. K.; KHAN, A.; ULLAH, A.; ULLAH, N.; HUANG, J. **Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review**, Kluwer Academic Publishers, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-014-0013-y>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

FARHANGI-ABRIZ, S.; TORABIAN, S. Nano-silicon alters antioxidant activities of soybean seedlings under salt toxicity. **Protoplasma**, [s. l.], v. 255, n. 3, p. 953–962,

2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00709-017-1202-0>>. Acesso em: 28 fev. 2021.

FREW, A.; WESTON, L. A.; REYNOLDS, O. L.; GURR, G. M. The role of silicon in plant biology: A paradigm shift in research approach. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 121, n. 7, p. 1265–1273, 2018.

GAO, S.; MOBLEY, A.; MILLER, C.; BOKLAN, J.; CHANDRA, J. Potentiation of reactive oxygen species is a marker for synergistic cytotoxicity of MS-275 and 5-azacytidine in leukemic cells. **Leukemia Research**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 771–780, 2008.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 309–14, 1977. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16659839>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. **Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants**, Elsevier Masson, 2010.

GOMES, M. A. D. C.; PESTANA, I. A.; SANTA-CATARINA, C.; HAUSER-DAVIS, R. A.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre pigmentos fotossintéticos, prolina, biomassa e óxido nítrico em salvinia auriculata aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s. l.], v. 29, p. 9, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X4716>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

GRATÃO, P. L.; MONTEIRO, C. C.; TEZOTTO, T.; CARVALHO, R. F.; ALVES, L. R.; PETERS, L. P.; AZEVEDO, R. A. Cadmium stress antioxidant responses and root-to-shoot communication in grafted tomato plants. **BioMetals**, [s. l.], v. 28, n. 5, p. 803–816, 2015. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26077192/>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. **Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier**, CSIRO PUBLISHING, 2005. Disponível em: <<https://www.publish.csiro.au/fp/FP05016>>. Acesso em: 4 jul. 2021.

GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J. F.; LEGAY, S. **Silicon and the plant extracellular matrix**, Frontiers Media S.A., 2016. Disponível em: <[www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

GUPTA, B.; HUANG, B. **Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization**, Hindawi Publishing Corporation, 2014.

HAMAYUN ABDUL WALI KHAN, M.; AFZAL KHAN, S.; LATIF KHAN, A.; KHAN SHINWARI, Z. **Effect of salt stress on growth attributes and endogenous growth hormones of soybean cultivar Hwangkeumkong Seed germination of halophytes** *View project* **Metagenomics of rhizospheric microbial communities** *View project* **Article in Pakistan Journal of Botany**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/230845231>>. Acesso em: 1 fev. 2021a.

HAMAYUN ABDUL WALI KHAN, M.; AFZAL KHAN, S.; LATIF KHAN, A.; KHAN SHINWARI, Z. **Effect of salt stress on growth attributes and endogenous growth hormones of soybean cultivar Hwangkeumkong Ethno-medicinal plants of Tahsil Barawal Bandi Dir Upper Khyber Pakhtunkhwa Pakistan** *View project* **Article in Pakistan Journal of Botany**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/230845231>>. Acesso em: 5 fev. 2021b.

HANIN, M.; EBEL, C.; NGOM, M.; LAPLAZE, L.; MASMOUDI, K. **New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding**, Frontiers Research Foundation, 2016. Disponível em: <[www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)>. Acesso em: 31 jan. 2021.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ROHMAN, M. M.; ANEE, T. I.; HUANG, Y.; FUJITA, M. Exogenous Silicon Protects Brassica napus Plants from Salinity-Induced Oxidative Stress Through the Modulation of AsA-GSH Pathway, Thiol-Dependent Antioxidant Enzymes and Glyoxalase Systems. **Gesunde Pflanzen**, [s. l.], v. 70, n. 4, p. 185–194, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10343-018-0430-3>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

HASEGAWA, P. M. Sodium (Na<sup>+</sup>) homeostasis and salt tolerance of plants. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 92, p. 19–31, 2013.

HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H. R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, Brassica napus L., plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 56, n. 2, p. 244–253, 2010. Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tssp20>>.

Acesso em: 29 jun. 2021.

HIPPLER, F. W. R.; BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A.; AZEVEDO, R. A.; MATTOS, D. Towards soil management with Zn and Mn: Estimates of fertilisation efficacy of Citrus trees. **Annals of Applied Biology**, [s. l.], v. 166, n. 3, p. 484–495,

2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/aab.12197>>. Acesso em: 4 jul. 2021.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **Circular. California Agricultural Experiment Station**, [s. l.], v. 347, n. 2, p. 1–32, 1950.

HURTADO, A. C.; CHICONATO, D. A.; DE MELLO PRADO, R.; DA SILVEIRA SOUSA JUNIOR, G.; VICIEDO, D. O.; DÍAZ, Y. P.; CALZADA, K. P.; GRATÃO, P. L. Silicon Alleviates Sodium Toxicity in Sorghum and Sunflower Plants by Enhancing Ionic Homeostasis in Roots and Shoots and Increasing Dry Matter Accumulation. **Silicon**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 475–486, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12633-020-00449-7>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

IGHODARO, O. M.; AKINLOYE, O. A. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. **Alexandria Journal of Medicine**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 287–293, 2018.

IQBAL, N.; UMAR, S.; KHAN, N. A.; KHAN, M. I. R. **A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: Regulation of proline metabolism**, 2014.

JAMES, R. A.; BLAKE, C.; BYRT, C. S.; MUNNS, R. Major genes for Na<sup>+</sup> exclusion, Nax1 and Nax2 (wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease Na<sup>+</sup> accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 62, n. 8, p. 2939–2947, 2011. Disponível em: <[http://jxb.oxfordjournals.org/open\\_access.html](http://jxb.oxfordjournals.org/open_access.html)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

JAMIL, A.; RIAZ, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. **Gene expression profiling of plants under salt stress**, Taylor & Francis Group, 2011. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352689.2011.605739>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

JANG, S. W.; KIM, Y.; KHAN, A. L.; NA, C. I.; LEE, I. J. Exogenous short-term silicon application regulates macro-nutrients, endogenous phytohormones, and protein expression in *Oryza sativa* L. **BMC Plant Biology**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 1–12, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/articles/10.1186/s12870-017-1216-y>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

JASPERS, P.; KANGASJÄRVI, J. **Reactive oxygen species in abiotic stress signaling**, John Wiley & Sons, Ltd, 2010. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1399-3054.2009.01321.x>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

JIANG, J.; SU, M.; CHEN, Y.; GAO, N.; JIAO, C.; SUN, Z.; LI, F.; WANG, C. Correlation of drought resistance in grass pea (*Lathyrus sativus*) with reactive oxygen species scavenging and osmotic adjustment. **Biologia (Poland)**, [s. l.], v. 68, n. 2, p. 231–240, 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.2478/s11756-013-0003-y>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

KAFI, M.; RAHIMI, Z. Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). **Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 341–347, 2011.

KALANAKI, M.; RITZEMA, H.; BAMSHAD, R.; JONES, E.; FAZILATNIA, M. Application of bio-desalinization for reclamation of salt-affected soil under composted cow manure and deficit irrigation with saline water. **Paddy and Water Environment**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 469–479, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10333-020-00795-7>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

KALTEH, M.; TAJ ALIPOUR, Z.; ASHRAF, S.; ALIABADI, M. M.; NOSRATABADI, A. F. **Effect of silica Nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) Under Salinity Stress** *Journal of Chemical Health Risks*. [s.l.] : Islamic Azad University, Damghan Branch, Islamic Republic of Iran, 2014. Disponível em: <[http://www.jchr.org/article\\_544075.html](http://www.jchr.org/article_544075.html)>. Acesso em: 20 jun. 2021.

KAVI KISHOR, P. B.; SREENIVASULU, N. **Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue?**, John Wiley & Sons, Ltd, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12157>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

KHAN, A.; KHAN, A. L.; MUNEER, S.; KIM, Y. H.; AL-RAWAHI, A.; AL-HARRASI, A. **Silicon and Salinity: Crosstalk in Crop-Mediated Stress Tolerance Mechanisms**, Frontiers Media S.A., 2019. Disponível em: <[www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)>. Acesso em: 4 fev. 2021.

KHAN, W.; AZIZ, T.; MAQSOOD, M.; FAROOQ, M.; ABDULLAH, Y.; RAMZANI, P.; BILAL, H. Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, [s. l.], v. 56, n. 4, p. 1047–1057, 2018.

KIM, Y.-H.; HWANG, S.-J.; WAQAS, M.; KHAN, A. L.; LEE, J.-H.; LEE, J.-D.; NGUYEN, H. T.; LEE, I.-J. Comparative analysis of endogenous hormones level in two soybean (*Glycine max* L.) lines differing in waterlogging tolerance. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 6, n. September, p. 714, 2015. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2015.00714/abstract>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

KIM, Y. H.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; LEE, I. J. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: A review. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, p. 510, 2017. Disponível em: <[www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

KIM, Y. H.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; SHIM, J. K.; KIM, D. H.; LEE, K. Y.; LEE, I. J. Silicon Application to Rice Root Zone Influenced the Phytohormonal and Antioxidant Responses Under Salinity Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 137–149, 2014. a.

KIM, Y. H.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; SHIM, J. K.; KIM, D. H.; LEE, K. Y.; LEE, I. J. Silicon Application to Rice Root Zone Influenced the Phytohormonal and Antioxidant Responses Under Salinity Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 137–149, 2014. b. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-013-9356-2>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

KIM, Y.; MUN, B.-G.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; KIM, H.-H.; SHAHZAD, R.; IMRAN, M.; YUN, B.-W.; LEE, I.-J. Regulation of reactive oxygen and nitrogen species by salicylic acid in rice plants under salinity stress conditions. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. e0192650, 2018. a. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0192650>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

KIM, Y.; MUN, B. G.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; KIM, H. H.; SHAHZAD, R.; IMRAN, M.; YUN, B. W.; LEE, I. J. Regulation of reactive oxygen and nitrogen species by salicylic acid in rice plants under salinity stress conditions. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. e0192650, 2018. b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192650>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

KRASKA, J. E.; BREITENBECK, G. A. Simple, Robust Method for Quantifying Silicon in Plant Tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s. l.], v. 41, n. 17, p. 2075–2085, 2010. Disponível em:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2010.498537>>. Acesso em: 8 fev. 2021.

KUMAR, S.; MILSTEIN, Y.; BRAMI, Y.; ELBAUM, M.; ELBAUM, R. Mechanism of silica deposition in sorghum silica cells. **New Phytologist**, [s. l.], v. 213, n. 2, p. 791–798, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/nph.14173>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

LEE, S. K.; SOHN, E. Y.; HAMAYUN, M.; YOON, J. Y.; LEE, I. J. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. **Agroforest Syst**, [s. l.], v. 80, p. 333–340, 2010. a.

LEE, S. K.; SOHN, E. Y.; HAMAYUN, M.; YOON, J. Y.; LEE, I. J. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. **Agroforestry Systems**, [s. l.], v. 80, n. 3, p. 333–340, 2010. b. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-010-9299-6>>. Acesso em: 28 fev. 2021.

LIANG, W.; MA, X.; WAN, P.; LIU, L. **Plant salt-tolerance mechanism: A review**, Elsevier B.V., 2018.

LIANG, Y.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, R. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 160, n. 10, p. 1157–1164, 2003.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in agriculture: From theory to practice**. [s.l.] : Springer Netherlands, 2015.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 147, n. 2, p. 422–428, 2007.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, [s. l.], v. 148, n. C, p. 350–382, 1987.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C.; KNAPP, M. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the PAM fluorometer. **Photosynthetica**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 379–393, 2005.

LIU, P.; YIN, L.; WANG, S.; ZHANG, M.; DENG, X.; ZHANG, S.; TANAKA, K. Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon

alleviated salt-induced osmotic stress in sorghum bicolor L. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 111, p. 42–51, 2015. a.

LIU, S. L.; YANG, R. J.; MA, M. D.; DAN, F.; ZHAO, Y.; JIANG, P.; WANG, M. H. Effects of exogenous NO on the growth, mineral nutrient content, antioxidant system, and ATPase activities of *Trifolium repens* L. plants under cadmium stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 37, n. 1, 2015. b.

LIU, Y.; YU, L.; QU, Y.; CHEN, J.; LIU, X.; HONG, H.; LIU, Z.; CHANG, R.; GILLIHAM, M.; QIU, L.; GUAN, R. GmSALT3, Which Confers Improved Soybean Salt Tolerance in the Field, Increases Leaf Cl<sup>-</sup> Exclusion Prior to Na<sup>+</sup> Exclusion But Does Not Improve Early Vigor under Salinity. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 7, n. September 2016, p. 1485, 2016. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2016.01485/abstract>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

MA, H.; BRENNAN, A.; DIAMOND, S. A. Photocatalytic reactive oxygen species production and phototoxicity of titanium dioxide nanoparticles are dependent on the solar ultraviolet radiation spectrum. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 2099–2107, 2012. Disponível em: <<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.1916>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

MA, J. F.; YAMAJI, N. **Silicon uptake and accumulation in higher plants**, Elsevier Current Trends, 2006.

MA, J. F.; YAMAJI, N. **Functions and transport of silicon in plants**, Springer, 2008. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00018-008-7580-x>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

MA, N. L.; CHE LAH, W. A.; KADIR, N. A.; MUSTAQIM, M.; RAHMAT, Z.; AHMAD, A.; LAM, S. D.; ISMAIL, M. R. Susceptibility and tolerance of rice crop to salt threat: Physiological and metabolic inspections. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. e0192732, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192732>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. **Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization**, MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2017. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/horticulturae](http://www.mdpi.com/journal/horticulturae)>. Acesso em: 27 jun. 2021.

MAHMOOD, S.; DAUR, I.; AL-SOLAIMANI, S. G.; AHMAD, S.; MADKOUR, M. H.; YASIR, M.; HIRT, H.; ALI, S.; ALI, Z. Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 7, n. JUNE2016, 2016.

MAJEED, A.; MUHAMMAD, Z. Salinity: A major agricultural problem-causes, impacts on crop productivity and management strategies. In: **Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches**. [s.l.] : Springer International Publishing, 2019. p. 83–99.

MALEKZADEH, P. Influence of exogenous application of glycinebetaine on antioxidative system and growth of salt-stressed soybean seedlings (*Glycine max* L.). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 225–232, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12298-015-0292-4>>. Acesso em: 2 mar. 2021.

MANIVANNAN, A.; SOUNDARARAJAN, P.; MUNEER, S.; KO, C. H.; JEONG, B. R. Silicon mitigates salinity stress by regulating the physiology, antioxidant enzyme activities, and protein expression in *Capsicum annum* “Bugwang”. **BioMed Research International**, [s. l.], v. 2016, 2016.

MARQUES, E. C.; FREITAS, V. S.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on germination, emergence and establishment of dwarf-cashew seedling. **Revista Ciencia Agronomica**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 993–999, 2011. Disponível em: <[www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br)>. Acesso em: 27 jun. 2021.

MENG, D.; FRICKE, W. Changes in root hydraulic conductivity facilitate the overall hydraulic response of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to salt and osmotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 113, p. 64–77, 2017.

METTERNICHT, G. I.; ZINCK, J. A. **Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints**, Elsevier Inc., 2003.

MIHARA, M.; UCHIYAMA, M.; FUKUZAWA, K. Thiobarbituric acid value on fresh homogenate of rat as a parameter of lipid peroxidation in aging, CCl<sub>4</sub> intoxication, and vitamin E deficiency. **Biochemical medicine**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 302–311, 1980.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 453–467, 2010. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 239–250, 2002. Disponível em: <<http://audit.ea.gov.au>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 867–880, 1981. Disponível em: <<https://academic.oup.com/pcp/article/22/5/867/1835201>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NAVROT, N.; ROUHIER, N.; GELHAYE, E.; JACQUOT, J. P. Reactive oxygen species generation and antioxidant systems in plant mitochondria. In: **PHYSIOLOGIA PLANTARUM 2007, Anais...** : John Wiley & Sons, Ltd, 2007. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1399-3054.2006.00777.x>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

NETO, A. D. D. A.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; ROLIM MEDEIROS, J. V.; GOMES-FILHO, E. Hydrogen peroxide pre-treatment induces salt-stress acclimation in maize plants. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 162, n. 10, p. 1114–1122, 2005.

NOREEN, S.; SULTAN, M.; AKHTER, M. S.; SHAH, K. H.; UMMARA, U.; MANZOOR, H.; ULFAT, M.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 158, p. 244–254, 2021.

OLIVERA VICIEDO, D.; DE MELLO PRADO, R.; LIZCANO TOLEDO, R.; NASCIMENTO DOS SANTOS, L. C.; PEÑA CALZADA, K. Respuesta de las plántulas del rábano (*Raphanus sativus* L.) a diferentes concentraciones de nitrógeno amoniacal en ausencia y presencia de silicio. **Agronomía Colombiana**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 198–204, 2017. Disponível em: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/62772>>. Acesso em: 8 fev. 2021.

OLIVERA VICIEDO, D.; MELLO PRADO, R.; LIZCANO TOLEDO, R.; SALAS AGUILAR, D.; SANTOS, L. C. N.; CALERO HURTADO, A.; PEÑA CALZADA, K.; BETANCOURT AGUILAR, C. Physiological role of silicon in radish seedlings under

ammonium toxicity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 100, n. 15, p. 5637–5644, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.10587>>. Acesso em: 8 fev. 2021.

PASSAIA, G.; CAVERZAN, A.; FONINI, L. S.; CARVALHO, F. E. L.; SILVEIRA, J. A. G.; MARGIS-PINHEIRO, M. Chloroplastic and mitochondrial GPX genes play a critical role in rice development. **Biologia Plantarum**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 375–378, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10535-014-0394-9>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

PETTER, F. A.; ALVES, A. U.; DA SILVA, J. A.; DE ALMEIDA CARDOSO, E.; ALIXANDRE, T. F.; DE ALMEIDA, F. A.; PACHECO, L. P. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de doses e épocas de aplicação de potássio. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 89–100, 2014. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/11656>>. Acesso em: 8 fev. 2021.

PRADO, R. . **Nutrição mineral de plantas tropicais**, Springer. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.springer.com/gp/book/9783030712617>>. Acesso em: 2 mar. 2021.

RACCHI, M. L. **Antioxidant defenses in plants with attention to prunus and citrus spp.**, MDPI AG, 2013. a. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/antioxidants](http://www.mdpi.com/journal/antioxidants)>. Acesso em: 21 jun. 2021.

RACCHI, M. L. **Antioxidant defenses in plants with attention to prunus and citrus spp.**, MDPI AG, 2013. b. Disponível em: <[pmc/articles/PMC4665512/](https://pmc/articles/PMC4665512/)>. Acesso em: 21 jun. 2021.

RADY, M. M.; ELRYS, A. S.; ABO EL-MAATI, M. F.; DESOKY, E. S. M. Interplaying roles of silicon and proline effectively improve salt and cadmium stress tolerance in *Phaseolus vulgaris* plant. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 139, p. 558–568, 2019.

RASOOL, S.; HAMEED, A.; AZOOZ, M. M.; MUNEEB-U-REHMAN; SIDDIQI, T. O.; AHMAD, P. Salt stress: Causes, types and responses of plants. In: **Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress**. [s.l.] : Springer New York, 2012. p. 1–24.

RIZWAN, M.; ALI, S.; UR REHMAN, M. Z.; MALIK, S.; ADREES, M.; QAYYUM, M. F.; ALAMRI, S. A.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. **Correction to: Effect of foliar applications of silicon and titanium dioxide nanoparticles on growth, oxidative**

**stress, and cadmium accumulation by rice (*Oryza sativa*) (Acta Physiologiae Plantarum, (2019), 41, 3, (35), 10.1007/s11738-019-2828-7)**, Polish Academy of Sciences, Institute of Slavic Studies, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11738-019-2863-4>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

RIZWAN, M.; MEUNIER, J. D.; MICHE, H.; KELLER, C. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 209–210, p. 326–334, 2012.

ROBATJAZI, R.; ROSHANDEL, P.; HOOSHMAND, Dollah. Benefits of Silicon Nutrition on Growth, Physiological and Phytochemical Attributes of Basil upon Salinity Stress. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 37–50, 2020. Disponível em: <[https://ijhst.ut.ac.ir/article\\_75266.html](https://ijhst.ut.ac.ir/article_75266.html)>. Acesso em: 6 fev. 2021.

ROY, P. R.; TAHJIB-UL-ARIF, M.; AKTER, T.; RAY, S. R.; SAYED, M. A. **AENSI Journals Advances in Environmental Biology Exogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide alleviates salt-induced oxidative stress in rice (*Oryza sativa* L.) by enhancing antioxidant enzyme activities and proline content** **Advances in Environmental Biology**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.aensiweb.com/AEB/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

RUAS, J.; SALVADOR, M.; AMAZONAS, L. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1–89, 2020.

SADAK, M. S.; ABD EL-HAMEID, A. R.; ZAKI, F. S. A.; DAWOOD, M. G.; EL-AWADI, M. E. Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max* L.) to cysteine application under sea salt stress. **Bulletin of the National Research Centre**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 1–10, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/articles/10.1186/s42269-019-0259-7>>. Acesso em: 2 mar. 2021.

SATTAR, A.; CHEEMA, M. A. A.; ABBAS, T.; SHER, A.; IJAZ, M.; HUSSAIN, M. Separate and combined effects of silicon and selenium on salt tolerance of wheat plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 341–348, 2017.

SATTAR, A.; CHEEMA, M. A.; SHER, A.; ABBAS, T.; IRFAN, M.; IJAZ, M.; HUSSAIN, S.; ALI, Q. Foliage applied silicon alleviates the combined effects of

salinity and drought stress on wheat seedlings. **International Journal of Agriculture & Biology**, [s. l.], v. 20, n. 11, p. 2537–2543, 2018.

SAYYAD-AMIN, P.; JAHANSOOZ, M. R.; BORZOUEI, A.; AJILI, F. Changes in photosynthetic pigments and chlorophyll-a fluorescence attributes of sweet-forage and grain sorghum cultivars under salt stress. **Journal of Biological Physics**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 601–620, 2016. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27586195/>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

SHAHZAD, M.; ZÖRB, C.; GEILFUS, C. M.; MÜHLING, K. H. Apoplastic Na<sup>+</sup> in vicia faba leaves rises after short-term salt stress and is remedied by silicon. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [s. l.], v. 199, n. 3, p. 161–170, 2013. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **Journal of Botany**, [s. l.], v. 2012, p. 26, 2012. a.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **Journal of Botany**, [s. l.], v. 2012, p. 1–26, 2012. b.

SHEKARI, F.; ABBASI, A.; MUSTAFAVI, S. H. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 367–374, 2017.

SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 167, n. 15, p. 1248–1252, 2010.

SHETEIWY, M. S.; SHAO, H.; QI, W.; DALY, P.; SHARMA, A.; SHAGHALEH, H.; HAMOUD, Y. A.; EL-ESAWI, M. A.; PAN, R.; WAN, Q.; LU, H. Seed priming and foliar application with jasmonic acid enhance salinity stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], n. June, 2020.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. **Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation**, Elsevier, 2015.

SHU, K.; QI, Y.; CHEN, F.; MENG, Y.; LUO, X.; SHUAI, H.; ZHOU, W.; DING, J.; DU,

J.; LIU, J.; YANG, F.; WANG, Q.; LIU, W.; YONG, T.; WANG, X.; FENG, Y.; YANG, W. Salt Stress Represses Soybean Seed Germination by Negatively Regulating GA Biosynthesis While Positively Mediating ABA Biosynthesis. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, p. 1372, 2017. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.01372/full>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

SILVA, B. S. da S. M. **BRUNA SANTANA DA SILVA MENDES EFEITOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DO ESTRESSE SALINO EM *Ananas porteanus***. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.livrosgratis.com.br>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

SOLIMAN, M. H.; ALAYAFI, A. A. M.; EL KELISH, A. A.; ABU-ELSAOUD, A. M. Acetylsalicylic acid enhance tolerance of *Phaseolus vulgaris* L. to chilling stress, improving photosynthesis, antioxidants and expression of cold stress responsive genes. **Botanical Studies**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 6, 2018. Disponível em: <<https://as-botanicalstudies.springeropen.com/articles/10.1186/s40529-018-0222-1>>. Acesso em: 7 fev. 2021.

TAKAHASHI, S.; MURATA, N. **How do environmental stresses accelerate photoinhibition?**, Elsevier Current Trends, 2008.

TAVAKKOLI, E.; FATEHI, F.; COVENTRY, S.; RENGASAMY, P.; MCDONALD, G. K. Additive effects of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions on barley growth under salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 62, n. 6, p. 2189–2203, 2011. Disponível em: <[http://jxb.oxfordjournals.org/open\\_access.html](http://jxb.oxfordjournals.org/open_access.html)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

TAVAKKOLI, E.; RENGASAMY, P.; MCDONALD, G. K. High concentrations of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 61, n. 15, p. 4449–4459, 2010. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erq251>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

TORABI, F.; MAJD, A.; ENTESHARI, S. The effect of silicon on alleviation of salt stress in borage (*Borago officinalis* L.). **Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 61, n. 5, p. 788–798, 2015. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tssp20>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

TRIPATHI, D. K.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M.; CHAUHAN, D. K.; DUBEY, N. K. Silicon nanoparticles (SiNp) alleviate chromium (VI) phytotoxicity in *Pisum sativum*

- (L.) seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 96, p. 189–198, 2015.
- TRIPATHI, P.; NA, C. I.; KIM, Y. Effect of silicon fertilizer treatment on nodule formation and yield in soybean (*Glycine max* L.). **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 122, p. 126172, 2021.
- TUNA, A. L.; KAYA, C.; ASHRAF, M.; ALTUNLU, H.; YOKAS, I.; YAGMUR, B. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 173–178, 2007.
- TUTEJA, N. Mechanisms of High Salinity Tolerance in Plants. In: **Methods in Enzymology**. [s.l.] : Academic Press Inc., 2007. v. 428p. 419–438.
- VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **Plant Journal**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 523–539, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x>>. Acesso em: 28 jun. 2021.
- VICIEDO, D. O.; DE MELLO PRADO, R.; LIZCANO TOLEDO, R.; DOS SANTOS, L. C. N.; CALERO HURTADO, A.; NEDD, L. L. T.; CASTELLANOS GONZALEZ, L. Silicon Supplementation Alleviates Ammonium Toxicity in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 413–419, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-019-00043-w>>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- VIEIRA, C. F.; SILVEIRA, J. A. G.; CAVALCANTI, F. R.; ARAGÃO, R. M.; SILVA, E. N. Integrated physiological analysis reveals that recovery capacity after salt stress withdrawal is a crucial mechanism for salt tolerance in soybean cultivars. **Indian Journal of Plant Physiology** 2018 23:3, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 444–458, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40502-018-0395-3>>. Acesso em: 3 set. 2021.
- WAQAS, M.; KHAN, A. L.; KANG, S. M.; KIM, Y. H.; LEE, I. J. Phytohormone-producing fungal endophytes and hardwood-derived biochar interact to ameliorate heavy metal stress in soybeans. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 50, n. 7, p. 1155–1167, 2014. Disponível em: <<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>>. Acesso em: 7 fev. 2021.
- WILLADINO, L.; FILHO, R. A. de O.; DA SILVA JUNIOR, E. A.; NETO, A. G.;

CAMARA, T. R. Salinity stress in two varieties of sugar cane: Enzymes of the antioxidant system and chlorophyll fluorescence. **Revista Ciencia Agronomica**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 417–422, 2011. Disponível em: <[www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

WU, Z.; LIU, S.; ZHAO, J.; WANG, F.; DU, Y.; ZOU, S.; LI, H.; WEN, D.; HUANG, Y. Comparative responses to silicon and selenium in relation to antioxidant enzyme system and the glutathione-ascorbate cycle in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis*) under cadmium stress. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 133, p. 1–11, 2017.

XING, W.; WANG, J.; LIU, H.; ZOU, D.; ZHAO, H. **Influence of natural saline-alkali stress on chlorophyll content and chloroplast ultrastructure of two contrasting rice (*Oryza sativa* L. japonica) cultivars AJCS**. [s. l.: s. n.].

YAN, G.; FAN, X.; PENG, M.; YIN, C.; XIAO, Z.; LIANG, Y. Silicon Improves Rice Salinity Resistance by Alleviating Ionic Toxicity and Osmotic Constraint in an Organ-Specific Pattern. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 11, 2020. Disponível em: <[/pmc/articles/PMC7081754/](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01175)>. Acesso em: 28 fev. 2021.

YIN, L.; WANG, S.; LI, J.; TANAKA, K.; OKA, M. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. **Polish Academy of Sciences**, [s. l.], v. 35, p. 3099–3107, 2013. a.

YIN, L.; WANG, S.; LI, J.; TANAKA, K.; OKA, M. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 35, n. 11, p. 3099–3107, 2013. b. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-013-1343-5>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZAVARIYAN, A. M.; RAD, M. Y.; ASGHARI, M. Effect of seed priming by potassium nitrate on germination and biochemical indices in *Silybum marianum* L. under salinity stress. **International Journal of Life Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 23–29, 2015. Disponível em: <<https://www.nepjol.info/index.php/IJLS/article/view/11922>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZHAI, C. Z.; ZHAO, L.; YIN, L. J.; CHEN, M.; WANG, Q. Y.; LI, L. C.; XU, Z. S.; MA, Y. Z. Two Wheat Glutathione Peroxidase Genes Whose Products Are Located in Chloroplasts Improve Salt and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Tolerances in *Arabidopsis*. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 73989, 2013. Disponível em: <[www.plosone.org](http://www.plosone.org)>. Acesso em: 21 jun.

2021.

ZHANG, C.; MOUTINHO-PEREIRA, J. M.; CORREIA, C.; COUTINHO, J.; GONÇALVES, A.; GUEDES, A.; GOMES-LARANJO, J. Foliar application of Sili-K® increases chestnut (*Castanea spp.*) growth and photosynthesis, simultaneously increasing susceptibility to water deficit. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 365, n. 1–2, p. 211–225, 2013. Disponível em: <<http://www.una-prosil.com.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

ZHANG, P.; SENGE, M.; DAI, Y. Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. **Reviews in Agricultural Science**, [s. l.], v. 4, n. 0, p. 46–55, 2016. Disponível em: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ras/4/0/4\\_46/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ras/4/0/4_46/_article)>. Acesso em: 4 fev. 2021.

ZHU, J. K. **Salt and drought stress signal transduction in plants**, Annual Reviews 4139 El Camino Way, P.O. Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA , 2002. Disponível em: <[www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)>. Acesso em: 29 jun. 2021.

ZHU, Y.; GONG, H. **Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants**, EDP Sciences, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0194-1>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZHU, Y.; JIANG, X.; ZHANG, J.; HE, Y.; ZHU, X.; ZHOU, X.; GONG, H.; YIN, J.; LIU, Y. Silicon confers cucumber resistance to salinity stress through regulation of proline and cytokinins. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 156, p. 209–220, 2020.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus L.*). **Plant Science**, [s. l.], v. 167, n. 3, p. 527–533, 2004. a.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus L.*). **Plant Science**, [s. l.], v. 167, n. 3, p. 527–533, 2004. b.