

Agrobiodiversidade Manejo e Produção Sustentável

Volume II

Cleberton Correia Santos | org.




Pantanal Editora

2022

Cleberton Correia Santos
Organizador

Agrobiodiversidade
Manejo e Produção Sustentável
Volume II



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Mun. Rio de Janeiro
UNMSM (Peru)
UFMT
Mun. de Chap. do Sul
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A281	Agrobiodiversidade [livro eletrônico] : manejo e produção sustentável: volume II / Organizador Cleberton Correia Santos. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022. 156p.; il. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-81460-67-9 DOI https://doi.org/10.46420/9786581460679 1. Agrobiodiversidade. 2. Ecologia agrícola. 3. Sustentabilidade. I. Santos, Cleberton Correia. CDD 333.953
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O e-book “Agrobiodiversidade: Manejo e Produção Sustentável – Volume II” de publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus 13 capítulos, estudos no âmbito agrônômico que direcionam para a sustentabilidade dos sistemas de produção por meio de técnicas baseadas numa ótica holística, objetivando-se o manejo dos recursos naturais renováveis, uma produção vegetal ambientalmente amigável e a qualidade de vida da população.

Considerando os padrões ambientais emergentes e panorama mundial pela busca por alimentos saudáveis associados a sustentabilidade dos agroecossistemas, o e-book tem como propósito a difusão de informações por meio de revisão de literatura, trabalhos técnico-científicos e/ou relatos de experiências que contribuam acerca do manejo da agrobiodiversidade.

Os capítulos são compostos por trabalhos sobre propagação de plantas medicinais, olerícolas, frutíferas e ornamentais, impactos das mudanças climáticas na agricultura e gestão florestal, uso de resíduos sólidos na produção de mudas, manejo da fertilidade do solo, silício na indução da resistência de plantas e discussões sobre a problemática dos recursos hídricos.

Aos autores pela dedicação para o desenvolvimento dos trabalhos aqui apresentados, que serão bases norteadoras para outras pesquisas que fortaleçam a agricultura sustentável e promovam o desenvolvimento rural e conservação dos recursos naturais, os agradecimentos do Organizador.

Por meio desta obra, esperamos contribuir no processo de ensino-aprendizagem e reflexões sobre a aplicabilidade de práticas agrônômicas que promovam o manejo da agrobiodiversidade e o desenvolvimento rural sustentável.

Ótima leitura!!!

Cleberton Correia Santos


Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Propagação vegetativa de plantas medicinais por estaquia caulinar	6
Capítulo 2	31
Propagação vegetativa de plantas ornamentais: estaquia e micropropagação	31
Capítulo 3	49
Biossólido vermicompostado e resíduo vegetal no crescimento, vigor e manutenção de banco de mudas de araçá	49
Capítulo 4	65
Espécies frutíferas propagadas assexuadamente por estaquia	65
Capítulo 5	79
Propagação de alface e tomate: relato de experiência na avaliação de crescimento de cultivares e uso de enraizadores em estacas	79
Capítulo 6	90
Fontes alternativas de auxinas para enraizamento de estacas frutíferas	90
Capítulo 7	105
Produção de mudas de hortaliças propagadas em bandejas de isopor e polietileno	105
Capítulo 8	114
Enraizador e substratos na propagação por estaquia de amora-preta cv. Tupy	114
Capítulo 9	121
Calagem em solo com diferentes teores de argila: um estudo de caso na região de Campo Novo do Parecis – MT	121
Capítulo 10	132
O silício no manejo de estresses bióticos e abióticos	132
Capítulo 11	147
A problemática da água no distrito de ideal município de Aracoiaba – CE	147
Índice Remissivo	155
Sobre o organizador	156


O silício no manejo de estresses bióticos e abióticos

Recebido em: 15/10/2022

Aceito em: 08/11/2022

 10.46420/9786581460679cap10


Jéssica Aline Linné^{1*} 


Edvânia Aparecida dos Santos Cardoso¹ 

Vanda Maria de Aquino Figueiredo¹ 

Juliana Milene Silverio¹ 

Thainá Caroline Casavechia de Oliveira¹ 

Vânia Tomazelli de Lima² 

Maílson Vieira Jesus¹ 

Silvana de Paula Quintão Scalon¹ 

INTRODUÇÃO

O silício (Si) encontra-se de forma abundante na crosta terrestre e está presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, encontrando-se na forma de óxido de silício. Apesar de não se enquadrar como nutriente, é considerado um elemento mineral benéfico ou útil as plantas, uma vez que não é totalmente necessário no sistema para que seja completado o ciclo vegetal, no entanto é notório a melhoria de aspectos relacionados à morfologia e estruturação quando utilizado (Marschner, 1995; Malavolta, 2006).

Atualmente a garantia de altas produtividades é papel-chave quando se trata de desejo do produtor rural. É importante a realização de estudos que contribuam para a minimização dos efeitos que possam causar a diminuição do rendimento e a depreciação da qualidade das espécies cultivadas, como a ocorrência de pragas e doenças, problemas com a fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas (Barbosa et al., 2008). O uso do silício pode ser uma alternativa sustentável para esses parâmetros mencionados devido aos seus efeitos positivos. Esse elemento influencia na resistência das plantas ao ataque de insetos e fitopatógenos, na melhoria do estado nutricional, na redução da transpiração e na melhoria da eficiência fotossintética (Balakhnina; Borkowska, 2013; Marques, 2017). Além disso, é capaz de condicionar as plantas as mais variadas adversidades climáticas, como estresse salino, toxicidade a metais, déficit hídrico (Balakhnina; Borkowska, 2013; Alves, 2017).

Apesar do uso do silício demonstrar-se interessante na agricultura, os resultados de trabalhos em campo ainda são instáveis e sua aplicação ainda é limitada por falta de conhecimento a respeito da sua

¹ Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil.

² Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil.

* Autor(a) correspondente: jessica.aline.linne@gmail.com

dinâmica e funções. A maioria dos agricultores e técnicos ainda desconhece os efeitos e as vantagens do uso de fontes silicatadas em suas lavouras (Lima Filho, 2008). A falta de oferta de fertilizantes silicatados em todas as regiões do Brasil onera as despesas com transporte dos poucos centros distribuidores, fato que também influencia para sua menor utilização (Montes et al., 2015).

Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivo estudar e agrupar informações a respeito do comportamento do silício na planta e no solo, enfatizando a importância do elemento contra estresses abióticos e no controle de pragas e doenças em plantas, de modo a promover o incentivo ao seu uso na agricultura, especialmente em plantas cultivadas em viveiro.

O SILÍCIO NAS PLANTAS

Segundo Menegale et al. (2015), o silício é absorvido pela planta comumente como ácido monossilícico (H_4SiO_4) e é translocado pelo xilema em uma distribuição que depende das taxas de transpiração dos órgãos vegetais, portanto a deposição desse elemento ocorre na parede celular dessas estruturas de transudação, formando uma dupla camada de sílica cutícula e sílica-celulosa, que contribuirão para regulação das trocas gasosas e servirão de resistência à invasão de patógenos. Os mesmos autores verificam que esse elemento é encontrado em maiores quantidades nos tecidos de suporte do caule e das folhas, e em menores concentrações nos grãos. Oliveira (2017) relata que o transporte desse elemento pode ser ativo ou passivo.

Dentre os benefícios trazidos pela absorção de Si, destacam-se: folhas mais eretas devido ao aumento de rigidez dos tecidos; aumento da taxa fotossintética por conta de uma maior concentração e atividade da enzima Rubisco Carboxilase e diminuição na taxa de transpiração, representando uma estratégia na economia de água (Mendes et al., 2011).

São consideradas plantas acumuladoras de Si aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras plantas com teor de silício menor que 0,5% (Ma et al., 2001). Castro (2009) definiu principalmente as espécies gramíneas, como acumuladoras desse elemento, enquanto Menegale et al. (2015) consideraram as leguminosas como não-acumuladoras por serem exclusoras na absorção desse elemento e ainda relatam que não são bem definidos os efeitos benéficos do Si nesse tipo de planta por conta dos vários resultados heterogêneos encontrados na literatura.

O SILÍCIO NO SOLO

No solo, o Si é geralmente agrupado em três frações diferentes: a fase sólida, a fase adsorvida e a fase líquida (Matichenkov; Bocharnikova, 2001; Sauer et al., 2006) (Figura 1).

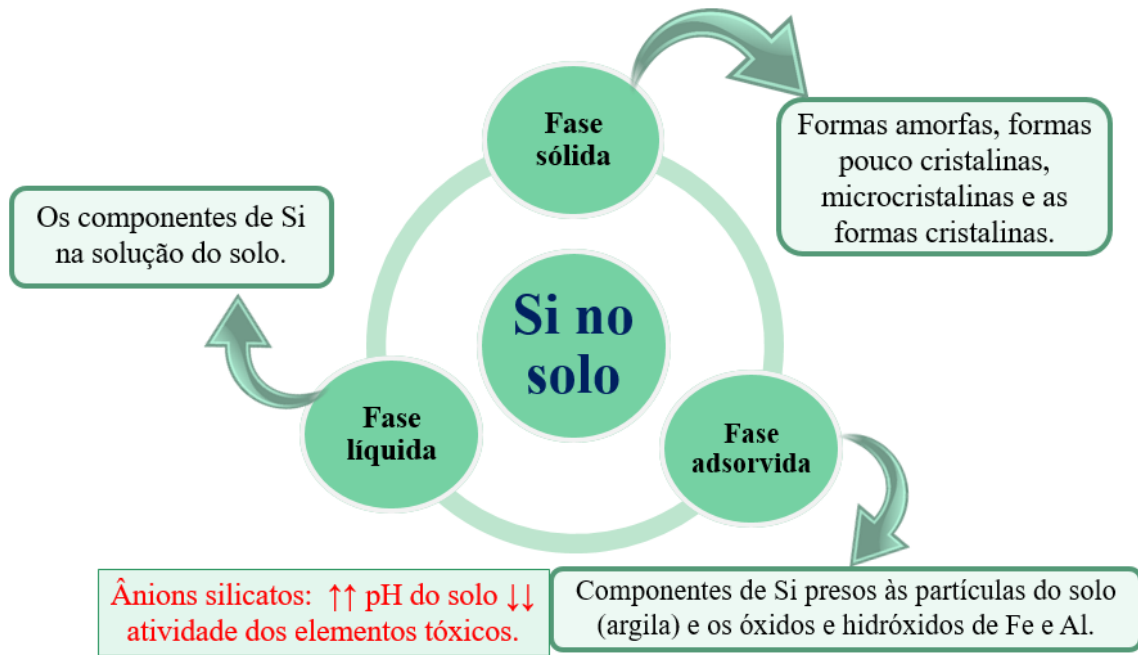


Figura 1. Silício nas fases sólida, líquida e adsorvida do solo. Fonte: os autores.

A fase sólida é dividida em três grupos principais: formas amorfas, formas pouco cristalinas e microcristalinas e as formas cristalinas. A maior fração de Si na fase sólida é composta pelas formas cristalinas, as quais ocorrem principalmente como silicatos primários e secundários e são abundantes em solos minerais que se desenvolveram a partir de rochas e sedimentos (Iler, 1979; Conley et al., 2006). A importância dessa fase de Si no solo está no fato de que a solubilidade das diferentes formas do elemento na fase sólida afeta de forma significativa a concentração de Si na solução do solo (Tubana; Heckman, 2015).

Os componentes de Si nas fases adsorvida e líquida são semelhantes, com a exceção de que aqueles em fase líquida estão dissolvidos na solução do solo, enquanto os adsorvidos estão presos às partículas do solo e óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Tubana; Heckman, 2015). A adsorção do ácido silícico presente na solução do solo ocorre também em uma variedade de partículas do solo, como minerais de argila secundários que, ao adsorverem Si, causam redução mínima na concentração do elemento na solução. Já os hidróxidos de Fe e Al têm capacidade de adsorção forte, capaz de remover, a partir da solução do solo, quantidades significativas de Si dissolvido (Santos, 2017). Essa adsorção do Si por óxidos é influenciada por fatores como o pH, o potencial redox e o tipo de metal (Al ou Fe) presente no solo.

O Si disponível para as plantas é encontrado no solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) e, uma vez absorvido, ele é acumulado principalmente na parede das células da epiderme das folhas (Ferreira, 2017). O ácido monossilícico, de forma passiva, juntamente com a água, é absorvido, sendo que sua posterior movimentação, na forma monomérica H_4SiO_4 , até as raízes depende de sua

concentração na solução do solo e da espécie da planta. Mendes et al. (2011) reafirmam que o Si é transportado como H_4SiO_4 no xilema e relatam que sua distribuição na planta também está relacionada com a taxa transpiratória das partes da planta.

A quantidade de H_4SiO_4 na solução do solo e a solubilidade de minerais contendo silício é afetada por fatores como pH, temperatura, tamanho das partículas, teor de água e matéria orgânica, e potencial redox do solo (Savant et al., 1997).

A presença de Si pode também reduzir a disponibilidade de determinados elementos presentes no solo, o que no caso de metais pesados ou nutrientes tóxicos mostra-se como mais um importante ponto a ser considerado em relação a este elemento. Estudos conduzidos com aplicação de materiais ricos em silício mostraram aumento no pH do solo e redução na disponibilidade de Cd, Cu, Pb e Zn em 60%, bem como na diminuição da absorção desses metais pesados pela cultura do arroz (Chen et al., 2000; Gu et al., 2011; Tripathi et al., 2014). Tubana et al. (2012) observaram resultados semelhantes com os elementos Fe e Ni.

O efeito do silício em diminuir a toxidez de metais pode ocorrer dentro da planta por: estímulo do sistema de antioxidantes, complexação dos íons metais; imobilização destes metais durante o crescimento vegetal; ou compartimentação em vacúolos, citoplasma ou na parede celular (Liang et al., 2007). Pela aplicação de fontes silicatadas nos solos também é possível verificar o seu efeito em elementos potencialmente tóxicos, os quais são convertidos de uma fração solúvel para uma fração insolúvel, estabilizando-se nessa forma, assim a sua biodisponibilidade é reduzida. No solo, isto pode ocorrer por processos de precipitação, humidificação, reações de redução e adsorção (Dietzel, 2000; Neumann; Nieden, 2001; Matichenkov; Bocharnikova, 2001; Sommer et al., 2006) e retenção dos metais em alocação nas frações de matéria orgânica e óxidos de ferro (Cunha et al., 2008). Os ânions silicatos aumentam o pH do solo e atuam diretamente na atividade dos elementos tóxicos seja reduzida, precipitando-os em compostos insolúveis, levando a polimerização de compostos silicatados ligados aos elementos tóxicos (Dietzel, 2000; Sommer et al., 2006; Tripathi et al., 2014).

ADUBAÇÃO SILICATADA

Apesar do silício (Si) estar presente em quantidades consideráveis na maioria dos solos, várias classes de solos, principalmente os arenosos, são pobres em Si solúvel nos horizontes superiores (Carvalho et al., 2009). Em um sistema de cultivo intensivo visando alta produtividade, faz-se necessária uma adubação adequada e, neste sentido, o uso de fertilizantes silicatados, pois além de fornecer nutrientes, também traz outros benefícios como o aumento da resistência das plantas a estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (salinidade, seca, etc). Em função destes benefícios, o Ministério da Agricultura, pelo Decreto Lei número 4954, aprovado em 14 de janeiro de 2004, que dispõe sobre a legislação de fertilizantes, considerou o silício (Si) como um elemento benéfico (Marafon; Endres, 2011).

O silício ainda é pouco utilizado pela falta de oferta de fertilizantes silicatados em todas as regiões do Brasil, o que onera as despesas com transporte (frete), e também pelo fato de existir ainda uma falta de informação, tanto por parte dos técnicos quanto dos agricultores sobre a importância do elemento na agricultura (Marafon; Endres, 2011).

Os fertilizantes silicatos possuem interação com a adubação NPK, Lima Filho et al. (1999) afirmaram que o uso de deles auxilia na eficiência da adubação NPK. Os silicatos apresentam boas propriedades de adsorção e promovem menor lixiviação de K^+ e de outros nutrientes móveis no solo.

De acordo com Ferreira (2017) para o fornecimento de Si, podem ser utilizados resíduos vegetais (casca de arroz e bagaço de cana) ou as cinzas obtidas da queima dos mesmos para geração de vapor. Entretanto, estas fontes são de liberação lenta no solo e insuficientes para atender à demanda por Si na agricultura. Por outro lado, subprodutos da indústria do ferro gusa e do aço, que são as escórias de siderurgia ricas em Si, podem atender essa demanda de forma mais rápida.

Como fontes de silício, Raj (2011) relata principalmente as escórias de alto forno, constituídas de silicato de cálcio e outros metais, o silicato de sódio e o termofosfato sílico-magnésiano. Malavolta (2006) relata que os silicatos mais utilizados possuem Ca e Mg em que suas equações resultam na função semelhante ao calcário de corrigir a acidez, neutralizando H^+ e Al^{+3} que são tóxicos na solução do solo, logo também apresentam poder de neutralização.

O SILÍCIO NO MANEJO DE ESTRESSES

O acúmulo de silício pode aumentar a resistência ao estresse hídrico e diminuir os danos provocados pelos ataques de pragas e doenças (Balakhnina; Borkowska, 2013). Resultados benéficos da adubação silicatada têm sido observados em espécies vegetais, especialmente quando submetidas a estresse de natureza biótica ou abiótica. Tais efeitos são observados, principalmente, em espécies gramíneas, denominadas plantas “acumuladoras” de Si (Ma et al., 2001).

Segundo Raven (2003), este elemento é depositado na forma de sílica gel na parede celular da epiderme das folhas, colmos e casca, formando uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose (Figura 2). A deposição do Si aumenta o fortalecimento e a rigidez da parede celular, aumentando, portanto, a resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças, acamamento, melhora a interceptação de luz e diminui a transpiração (Barbosa Filho et al., 2001). Marschner (1995) explica que o Si acumulado junto aos estômatos reduz a taxa de transpiração, diminuindo, dessa forma, o consumo de água pela planta.

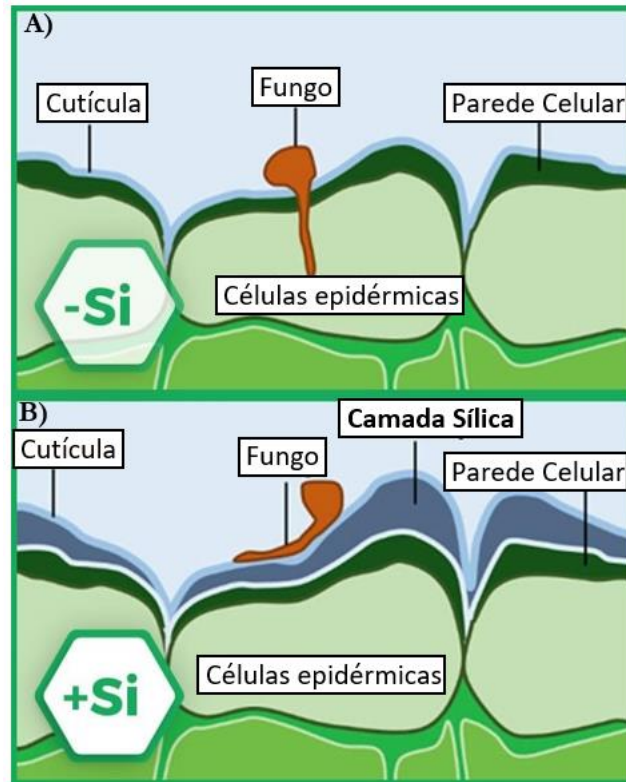


Figura 2. a) Presença e **b)** ausência da camada de sílica na parede celular de plantas tratadas com e sem silício, respectivamente. Fonte: adaptado de Hadrami (2019).

Faria (2000) afirma que quanto maior o teor de Si na planta, maior sua capacidade em tolerar falta de água no solo. O elemento também pode ativar genes relacionados com a produção de fenóis e enzimas envolvidos com o mecanismo de defesa da planta (Rodrigues et al., 2004). Nas plantas, podemos relacionar a presença do elemento à maior resistência ao acamamento, diminuição do ataque por pragas e doenças (por conta de alterações na anatomia da planta, como a formação de células epidérmicas mais grossas e maior grau de lignificação e/ou silicificação), maior resistência a condições adversas, causadas por situações de estresse biótico e abiótico, como menor efeito deletério provocado pela geada, menor taxa de evapotranspiração (em situações de déficit hídrico), favorecimento de nodulação em leguminosas, ativação da atividade de enzimas, efeitos na composição mineral (Epstein e Bloom, 2005; Malavolta, 2006).

O SILÍCIO NO MANEJO DO DÉFICIT HÍDRICO

Nas folhas, o silício acumula-se abaixo da cutícula formando uma camada de sílica que contribui para fortalecer a estrutura da planta reduzindo perda de água (Takahashi, 1995; Balakhnina e Borkowska, 2013) além de manter as folhas mais eretas, o que propicia melhor aproveitamento de luz solar e consequentemente maior aproveitamento fotossintético (Deren et al., 1994; Takahashi, 1995). Com relação à deficiência hídrica, o efeito benéfico deste elemento tem sido associado ao aumento da capacidade de defesa antioxidante (Zhu et al., 2004; Gong et al., 2005; Tripathi et al., 2014) e à

manutenção da taxa fotossintética, da condutância estomática da planta, mesmo em solo seco (Hattori et al., 2005), devido à redução da transpiração através da cutícula (Ma; Yamaji, 2006).

Gao et al. (2006), estudando os efeitos do silício sobre a taxa transpiratória e condutância estomática de plantas de trigo em condições de déficit hídrico, observaram significativa redução das mesmas tanto na superfície abaxial quanto na adaxial das folhas, porém tais efeitos não foram observados sobre a cutícula. Tais resultados apontam o papel deste elemento na diminuição da taxa transpiratória das plantas, a qual pode ser amplamente atribuída à atividade dos estômatos. O acúmulo de sílica na parede celular reduz a perda de água por transpiração, tornando-se um fator de adaptação ao estresse hídrico.

Gao et al. (2004) observaram que plantas de milho sob condições de estresse hídrico induzido por PEG 6000 (polietileno glicol) e adubadas com silício apresentavam maior eficiência do uso de água, menor transpiração e maior resistência estomática. Segundo os autores, a hipótese que explicaria esse fato seria a redução da transpiração, devido ao aumento da sensibilidade estomática e da resistência cuticular, porém o mecanismo que regula a resposta estomatal permanece não entendido e pouco estudado.

Segundo Guerra et al. (2014), plantas de algodoeiro supridas com silício, tanto as infectadas por ramulose como as sadias, passaram a usar de maneira mais eficiente a água, fixando uma maior quantidade de CO₂ por molécula de água transpirada. Esse fato é possível devido ao acúmulo de Si, que proporciona uma proteção mecânica à epiderme e ao mesmo tempo aumenta a resistência à seca, uma vez que o Si acumulado as lâminas foliares forma uma dupla camada de sílica-celulose que confere diminuição da permeabilidade ao vapor de água, o que limita a perda de água através da cutícula, reduzindo a transpiração cuticular (Ma et al., 2001).

O SILÍCIO NO MANEJO DE ESTRESSE SALINO

A salinidade é um dos principais fatores abióticos que contribuem para a diminuição da produtividade das plantas. Este fator é mais expressivo nas regiões áridas e semiáridas, as quais apresentam grandes contrastes ambientais (Parida; Das, 2004). As principais causas dos processos de salinização das áreas agricultáveis nestas regiões são decorrentes da baixa precipitação pluviométrica, alta evaporação, material de origem dos solos, irrigação mal conduzida, além de drenagem inadequada (Dantas et al., 2006).

Dentre os manejos agrônômicos realizados para atenuar o efeito do estresse salino em plantas, encontra-se a utilização do silício. Segundo Epstein (1999), o silício não é um elemento essencial para as plantas, mas traz benefícios para as mesmas, como por exemplo, aumenta a rigidez dos tecidos, o teor de clorofila, a resistência das células ao dano mecânico, as taxas fotossintéticas, além disso, melhora o aproveitamento da água conferido tolerância a estresses abióticos, como o estresse salino.

Conforme pesquisas realizadas por Lima et al. (2011), a aplicação de silício na solução nutritiva no cultivo de milho sob estresse salino, atenuou o efeito negativo causado pelo sal sobre o crescimento das plantas. Tuna et al. (2008) observaram que o silício aplicado a plantas de trigo submetidas a estresse

salino diminuiu a permeabilidade da membrana plasmática ao sódio, mantendo-a para o potássio e o cálcio, aliviando o estresse causado pelo sal. Além disso, observaram que o transporte de sódio dentro das raízes das plantas foi reduzido moderadamente pela adição de silício nas condições de salinidade. Zuccarini (2008) avaliando os efeitos da aplicação de silício em *Phaseolus vulgaris* L. sob dois níveis de salinidade, observou redução significativa no crescimento das plantas e trocas gasosas como condutância estomática e taxa fotossintética líquida, e aumento no conteúdo de Na⁺ e Cl⁻ principalmente nas raízes. Em condição de excesso de sal, a integridade da parede celular é garantida pela capacidade do silício em estimular o sistema antioxidante. Em culturas de cevada e algodão, cultivadas em solos com alta salinidade e baixa umidade, a aplicação de Si diminuiu as concentrações de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), bem como estimulou a atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase que garantiram a preservação da parede celular (Rodrigues et al., 2011; Balakhnina; Borkowska, 2013).

No entanto, ainda não foram descobertos nem completamente elucidados todos os mecanismos pelos quais o silício contribui com a tolerância ao estresse salino. Prova disto é que vários autores têm proposto várias hipóteses tentando explicar o efeito do silício sobre o estresse salino, porém nenhuma tem uma evidência clara. Dentro destas proposições são três as hipóteses que têm ganhado mais aceitabilidade na comunidade científica. A primeira é que o silício diminui a concentração de sais na planta devido à diminuição da transpiração pelo acúmulo do elemento nas folhas, a segunda é que o silício diminui o transporte de sódio nas raízes e a terceira é que o elemento tem funções fisiológicas que aumentam o metabolismo antioxidante (Shi et al., 2013).

O SILÍCIO NO CONTROLE DE PRAGAS

O aumento da resistência das plantas aos herbívoros pode ser causado pela redução da digestibilidade e/ou aumento da dureza dos tecidos das plantas, devido à deposição da sílica amorfa nas células da epiderme. Recentes estudos têm demonstrado também que o Si solúvel está envolvido na defesa química induzida por meio do aumento da produção de enzimas de defesa ou da possível melhoria na liberação de voláteis responsáveis pela atração de inimigos naturais, melhorando assim o controle biológico dos herbívoros (Reynolds et al., 2009).

A ação do silício sobre os insetos herbívoros pode ocorrer de duas formas: ação direta e ação indireta. Os efeitos diretos incluem a redução no crescimento da planta e na reprodução do inseto, com simultânea redução do dano na planta. Estudos demonstraram o aumento da resistência em plantas com Si a insetos herbívoros e outros artrópodes (Moraes et al., 2004; Kvedaras; Keeping, 2007). Os efeitos indiretos podem ser considerados como a diminuição ou atraso da penetração do inseto na planta, reduzindo o tempo de exposição da planta às pragas, condições climáticas adversas e às medidas de controle químico (Kvedaras; Keeping, 2007; Tripathi et al., 2014).

Trabalhos conduzidos por Keeping e Meyer (2000) com cana-de-açúcar mostraram os efeitos da aplicação de silicato de cálcio conferindo resistência à broca-da-cana, *Eldana saccharina*. Segundo esses

autores, foram observados aumentos significativos no teor de silício nas plantas tratadas com silicato de cálcio. Os tratamentos com silício reduziram significativamente os danos produzidos pela broca e o número de internódios broqueados. Os mesmos autores constataram que o silicato de cálcio aplicado conferiu resistência comparado com o tratamento controle, reduzindo o tamanho da broca em 24,4%. Variedades suscetíveis tiveram maior benefício do tratamento com silício do que as resistentes. Variedades resistentes não apresentaram efeitos significativos com o Si.

Por outro lado, na cultura da batata a aplicação de silício para a diminuição do grau de infestação por pulgões e vaquinhas não apresentou resultados significativos quando comparado à testemunha absoluta, bem como o desenvolvimento e produtividade da cultura (Silva et al., 2010). Tais resultados condizem com os de Gomes et al. (2008), onde a avaliação de apenas um ciclo da cultura da batata não foi suficiente para expressar resultados significativos mediante a aplicação de Si para o controle de pulgão.

Korndörfer (2006) verificou que o acúmulo de Si em plantas de *Davilla elliptica* (Dilleniaceae) St. Hil resultou em folhas mais duras e com maior número de tricomas (apêndices epidérmicos altamente variados em estrutura e função) formando uma barreira física, refletindo na redução da herbivoria por parte de insetos.

O SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS

O silício pode atuar na constituição de barreira física de maneira a impedir a penetração de fungos e afetar os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando na ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa pré e pós-formados da planta (Pozza et al. 2004; Tripathi et al., 2014). Além da barreira física nas células epidérmicas, o elemento age no tecido hospedeiro afetando os sinais, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta. Durante muito tempo acreditou-se que o papel do Si estava restrito a uma defesa física, entretanto, a barreira física proporcionada por este elemento nas células epidérmicas não é o único mecanismo de combate à penetração das hifas de fungos. A resistência mediada pelo Si contra patógenos está associada também com o acúmulo de compostos fenólicos e fitoalexinas, mas também com a ativação de alguns genes (Rodrigues et al., 2001).

Domiciano et al. (2010) relatam que a utilização de silício promoveu uma redução significativa da doença provocada pelo fungo *Bipolaris sorokiniana* na cultura do trigo. Os autores verificaram que houve um aumento na atividade de algumas enzimas, como quitinase, peroxidase e polifenoloxidase nos tratamentos que foram suplementados com o elemento e inoculados com o fungo. Este resultado é mais uma evidência da atuação do Si como um elemento capaz de ativar o sistema de defesa das plantas. Ainda na cultura do trigo, o míldio pulverulento (*Blumeria graminis* f.sp. tritici) tem sido controlado com a aplicação de silicato no solo (Rodgers-Gray; Shaw, 2000).

Em outras culturas, o silício também tem apresentado efeito promissor no controle de doenças. Estudos conduzidos por Seebold et al. (2004) revelaram que a dose de 100 kg ha⁻¹ de Si foi tão efetiva

quanto as doses cheias dos fungicidas edifenfós e tricyclazole no controle da brusone na folha e na panícula de arroz. Além disso, a aplicação do Si associado com 10% a 25% da dose cheia dos fungicidas foi tão eficiente no controle da doença quanto as doses cheias dos fungicidas. Observou-se, ainda, que o efeito residual do Si no solo foi eficiente no controle da brusone na folha e no “pescoço” da panícula na safra seguinte de arroz.

Resende et al. (2009) estudaram o efeito do Si no comportamento de alguns componentes de resistência de linhagens de sorgo suscetível e resistente à antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum sublineolum*. Cinco doses do elemento foram aplicadas ao solo, utilizando-se a wollastonita como fonte. Observou-se que o teor de Si aumentou nas folhas, com incremento de 55% e 58% em relação ao controle nas linhagens suscetível e resistente, respectivamente. Para a linhagem suscetível houve efeito positivo do Si sobre a severidade da doença.

Pozza et al. (2004), estudando o efeito do Si na intensidade da cercosporiose em três cultivares de cafeeiro em tubetes, observaram redução de 63,2% no número de lesões e de 43% de folhas doentes por plantas. Além disso, verificaram o aumento significativo nos teores de Si foliar nas plantas adubadas com este elemento quando comparadas ao tratamento testemunha.

CONCLUSÃO

A utilização do silício na agricultura, especialmente em plantas cultivadas em viveiros, pode ser uma grande estratégia de manejo de pragas, doenças e estresses abióticos como o déficit hídrico e a salinidade.

Os silicatos podem atuar como corretivos e fertilizantes, por substituir o calcário no processo de correção da acidez do solo e fornecer nutrientes (silício, cálcio e magnésio).

Para algumas culturas os resultados ainda são incipientes e mostram-se heterogêneos, mas vários estudos têm comprovado os benefícios do uso do silício no manejo de plantas cultivadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, P. E. P. N. (2017). *Potencial do silício à tolerância aos estresses abióticos em plantas cultivadas*. Trabalho de conclusão de curso (Título em Ciências Biológicas), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 18p.
- Balakhnina, T., & Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *International Agrophysics*, 27, 225-232.
- Barbosa Filho, M. P., Snyder, G. H., Fageria, N. K., Datnoff, L. E., Silva, & O. F. (2001). Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 325-330. DOI: 10.1590/S0100-06832001000200009

- Barbosa, N. C., Venâncio, R., Assis, M. H. S., Paiva, J. B., Carneiro, M. A. C., & Pereira, H. S. (2008). Formas de aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em neossolo quartzarênico de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38, 290-296.
- Castro, G. S. A. (2009). *Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário*. Dissertação Mestrado, UNESP Botucatu, 160p.
- Carvalho, M. P., Zanão Júnior, L. A., Grossi, J. A. S., & Barbosa, J. G. (2009). Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. *Ciência Rural*, 39, 2394-2399. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000194
- Chen, H. M., Zheng, C. R., Tu, C., & Shen, Z. G. (2000). Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere*, 41, 229-234. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00415-4
- Conley, D. J., Sommer, M., Meunier, J. D., Kaczorek, D., & Saccone, L. (2006). Silicon in the terrestrial biogeosphere. In: Ittekkot, V., Humborg, C., & Garnier, J. (Orgs.). *Land-ocean nutrient fluxes: silica cycle*. Washington DC: SCOPE Series/Island Press.
- Cunha, K. P. V., Nascimento, C. W. A., & Silva, A. J. (2008). Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 849-853. DOI: 10.1002/jpln.200800147
- Dantas, J. A., Neto, E. B., Barreto, L. P., & Santos, M. V. F. (2006). Efeito da salinidade sobre o crescimento e composição mineral de seis clones de *Pennisetum*. *Revista Ciência Agronômica*, 37, 97-101.
- Deren, C. W., Datnoff, L. F., Snyder, G. H., & Martin, F. G. (1994). Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown in flooded organic histosols. *Crop Science*, 34, 733-737. DOI: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400030024x
- Dietzel, M. (2000). Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 3275-3281. DOI: 10.1016/S0016-7037(00)00426-9
- Domiciano, G. P., Rodrigues, F. A., Vale, F. X. R., Xavier Filha, M. S., Moreira, W. R., Andrade, C. C. L., & Pereira, S. C. (2010). Wheat resistance to spot blotch potentiated by silicon. *Journal of Phytopathology*, 158, 334-343. DOI: 10.1111/j.1439-0434.2009.01623.x
- Epstein, E. (1999). Silicon annual review of plant. *Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Faria, R. J. (2000). *Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 47p.
- Ferreira, B. C. (2017). *Reatividade de fontes de silício no solo e sua acumulação nas plantas de arroz e de sorgo*. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 53p.

- Gao, X., Zou, C., Wang, L., & Zhang, F. (2004). Silicon improves water use efficiency in maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 1457-1470. DOI: 10.1081/PLN-200025865
- Gao, X., Zou, C., Wang, L., & Zhang, F. (2006). Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1637-1647. DOI: 10.1080/01904160600851494
- Gomes, F. B., Moraes, J. C., Santos, C. D. D., & Antunes, C. S. (2008). Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 37, 185-190. DOI: 10.1590/S1519-566X2008000200013
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169, 313-321. DOI: 10.1016/j.plantsci.2005.02.023
- Gu, H., Qui, H., Tian, T., Zhan, S. S., Deng, T. H. B., Chaney, R. L., Wang, S. Z., Tang, Y. T., Morel, J. L., & Qiu, R. L. (2011). Mitigation effects of silicon rich amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on multi-metal contaminated acidic soil. *Chemosphere*, 83, 1234-1240. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.03.014
- Guerra, A. M. N., Rodrigues, F. Á., Lima, T. C., Berger, P. G., Barros, A. F., & Silva, Y. C. R. D. (2014). Capacidade fotossintética de plantas de algodoeiro infectadas por ramulose e supridas com silício. *Bragantia*, 73, 50-64. DOI: 10.1590/brag.2014.010
- Hadrami, A. (2019). The role of silica in field crops. Disponível em: <<https://omexcanada.com/plant-nutrition/know-your-nutrients/the-role-of-silica-in-field-crops>>. Acesso em: 16/07/2022.
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., Ping, A., Morita, S., Luxova, M., & Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiologia Plantarum*, 123, 459-466. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x
- Iler, R. K. (1979). *The chemistry of silica*. New York: Wiley.
- Keeping, M. G., & Meyer, J. H. (2000). Increased resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) with calcium silicate application. *Proceedings of the Annual Congress South African Sugar Technologists Association*, 74, 221-222.
- Korndörfer, A. P. A. (2006). *Importância do silício nas relações entre herbívoros e Davilla elliptica (Dilleniaceae) St. Hill no Cerrado*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 31p.
- Kvedaras, O. L., & Keeping, M. G. (2007). Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharinain* sugarcane. *Entomology Experimentalis et Applicata*, 125, 103-110. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2007.00604.x
- Liang, Y. C., Sun, W., Zhu, Y. G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, 147, 422-428. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.06.008

- Lima Filho, O. F. (2008). Silício: produtividade com qualidade na lavoura. Embrapa Agropecuária. 2p. Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/Noticias/artigos/artigo1.html>>. Acesso em: 17/06/2022.
- Lima Filho, O. F., Lima, M. T. G., & Tsai, S. M. (1999). O silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, 87, 1-7.
- Lima, M. A., Castro, V. F., Vidal, J. B., & Filho, J. E. (2011). Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 398- 403. DOI: 10.1590/S1806-66902011000200019
- Ma, J. F., Miyake, Y., & Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. *Studies in Plant Science*, 8, 17-39. DOI: 10.1016/S0928-3420(01)80006-9
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11, 392-397. DOI: 10.1016/j.tplants.2006.06.007
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Editora Ceres.
- Marques, M. G. (2017). *Teor foliar de silício em Brassica napus e Brassica juncea fertilizadas com silicato de cálcio*. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 20p.
- Marafon, A. C., & Endres, L. (2011). *Adubação silicatada em cana-de-açúcar*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.
- Matichenkov, V. V., & Bocharnikova, E. A. (2001). The relation between silicon and soil physical and chemical properties. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (Orgs.). *Silicon in agriculture - Studies in Plant Science*. Amsterdam: Elsevier.
- Mendes, L. S., Souza, C. H. E., & Machado, V. N. (2011). Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. *Cerrado Agrociências*, 2, 51-63.
- Menegale, M. L. C., Castro, G. S. A., & Mancuso, M. A. (2015). Silício: Interação Com o Sistema Solo-Planta. *Journal of Agronomic Sciences*, 4, 435-454.
- Montes, R. M., Montes, S. M. N. M., & Raga, A. (2015). *Uso de silício no manejo de pragas*. São Paulo: Instituto Biológico, Boletim técnico 17. 13p.
- Moraes, J. C., Goussain, M. M., Basagli, M. A., Carvalho, G. A., Ecole, C. C., & Sampaio, M. V. (2004). Influência do silício na interação tritrófica: plantas de trigo, pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) e seus inimigos naturais *Chrysoperla externa* (Hagen) e *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). *Neotropical Entomology*, 33, 619-624. DOI: 10.1590/S1519-566X2004000500012
- Neumann, D., & Nieten, U. (2001). Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. *Phytochemistry*, 56, 685-692. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)00472-6

- Oliveira, R. L. L. (2017). *Aplicação de silício na fisiologia, na produção e na mitigação de estresse causado pela deficiência de manganês em plantas de sorgo granífero*. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 43p.
- Parida, A. K., & Das A. B. (2004). Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. *Journal of Plant Physiology*, 161, 921-928. DOI: 10.1016/j.jplph.2003.11.006
- Pozza, A. A. A., Alves, E., Pozza, E. A., Carvalho, J. G., Montanari, M., Guimarães, P. T. G., & Santos, D. M. (2004). Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 29, 185-188. DOI: 10.1590/S0100-41582004000200010
- Raij, B. V. (2011). *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.
- Raven, J. A. (2003). Cycling silicon-the role of accumulation in plant. *The New Phytologist*, 158, 419-421.
- Resende, R. S., Rodrigues, F. A., Soares, J. M., & Casela, C. R. (2009). The influence of silicon on components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. *European Journal of Plant Pathology*, 124, 533-541. DOI: 10.1007/s10658-009-9430-6
- Reynolds, O. L., Keeping, M. G., & Meyer, J. H. (2009). Silicon augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annals of Applied Biology*, 155, 171-186. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x
- Rodgers-Gray, B. S., & Shaw, M. W. (2000). Substantial reductions in winter wheat diseases caused by addition of rice straw but not manure to soil. *Plant Pathology*, 49, 590-599. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2000.00497.x
- Rodrigues, F. A., Datnoff, L. E., Korndorfer, G. H., Seebold, K. W., & Rush, M. C. (2001). Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. *Plant Disease*, 85, 827-832. DOI: 10.1094/PDIS.2001.85.8.827
- Rodrigues, F. A., McNally, D. J., Datnoff, L. E., Jones, J. B., Labbé, C., Benhamou, N., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (2004). Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*, 94, 177-183. DOI: 10.1094/PHYTO.2004.94.2.177
- Rodrigues, F. A., Oliveira, L. A., Korndörfer, A. P., & Korndörfer, G. H. (2011). Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Informações Agronômicas*, 134, 14-20.
- Sauer, D., Saccone, L., Conley, D. J., Herrmann, L., & Sommer, M. (2006). Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry*, 80, 89-108. DOI: 10.1007/s10533-005-5879-3
- Santos, G. A. (2017). *Eficiência da fluorita com óxido de silício na produção de cana-de-açúcar*. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 111p.

- Savant, N. K., Snyder, G. H., & Datnoff, L. E. (1997). Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, 58, 151-199. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60255-2
- Seebold, K. W., Datnoff, L. E., Correa-Victoria, F. J., Kucharek, T. A., & Snyder, G. H. (2004). Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. *Plant Disease*, 88, 253-258. DOI: 10.1094/PDIS.2004.88.3.253
- Shi, Y., Wang, Y., Flowers, T. J., & Gong, H. (2013). Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, 170, 847-853. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.01.018
- Silva, V. F., Moraes, J. C., & Melo, B. A. (2010). Influence of silicone on the development, productivity and infestation by insect pests in potato crops. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 1465-1469. DOI: 10.1590/S1413-70542010000600016
- Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y., & Breuer, J. (2006). Silicon pools and fluxes in soils and landscapes: a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 310-329. DOI: 10.1002/jpln.200521981
- Takahashi, E. (1995). Uptake mode and physiological functions of silica. *Science of Rice Plant*, 2, 58-71.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Gangwar, S., Prasad, S. M., Maurya, J. N., & Chauhan, D. K. (2014). Role of silicon in enrichment of plant nutrients and protection from biotic and abiotic stresses. In: Ahmad, P., Wani, M. R., Azooz, M. M., & Tran, L. S. P. (Orgs.). *Improvement of crops in the era of climatic changes*. New York: Springer.
- Tubana B. S., & Heckman, J. R. (2015). Silicon in Soils and Plants. In: Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (Orgs.). *Silicon and Plant Diseases*. Cham: Springer International Publishin.
- Tubana B. S., Narayanaswamy, C., & Datnoff, L. E. (2012). Changes in pH and extractable nutrients of selected soils from the Midwest and South USA as influenced by different rates of iron calcium silicate slag. *ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings*, 21-24
- Tuna, A. L., Kayab, C., Higgs, D., Amador, B. M., Aydemir, S., & Girgin, A. R. (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62, 10-16. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2007.06.006
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., & Yu, Z. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167, 527-533. DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.04.020
- Zuccarini, P. (2008). Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, 52, 157-160. DOI: 10.1007/s10535-008-0034-3

Índice Remissivo

	A		L
Almeirão, 109, 110, 111		<i>Lactuca sativa</i> L, 80	
	C		M
Cálcio, 125, 128		Magnésio, 125, 127, 128	
	E	Meio de cultura, 40	
Estacas, 12, 23			P
	F	PRNT, 123, 128	
frutíferas, 65, 66, 67, 69, 70, 74, 76			S
		<i>Solanum lycopersicum</i> L, 79	
		Substratos, 116, 117, 118	

Sobre o organizador



  **Cleberton Correia Santos**

Graduado em Agroecologia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Mestre, Doutor e Pós-Doutor em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Atualmente é Professor Visitante junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal da UFGD. Tem experiência em Tecnologias para Produção de Mudas, Ecofisiologia, Nutrição e Metabolismo de Plantas e Manejo de Recursos Naturais Renováveis. É integrante do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas – GEEP e dos de Pesquisa do CNPq: i) Olericultura e Plantas Medicinais, e ii) Cultivo e Propagação de Plantas do Cerrado. Contato: cleber_frs@yahoo.com.br



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br