

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
(Organizadores)

AGRONOMIA AVANÇOS E PERSPECTIVAS



Pantanal Editora

2020

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
(Organizadores)

AGRONOMIA
AVANÇOS E PERSPECTIVAS



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora

Edição de Arte: A editora

Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez – ITSON (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI
- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG

- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A281	Agronomia [recurso eletrônico] : avanços e perspectivas / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 137p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-991208-6-2 DOI https://doi.org/10.46420/9786599120862 1. Agronomia – Pesquisa – Brasil. 2. Ecologia agrícola. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González. CDD 630
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

Os avanços tecnológicos na Agronomia têm proporcionado o progresso da humanidade. Ao olharmos para o passado podemos observar a transformação que essa área de conhecimento promoveu na nossa agricultura e, conseqüentemente na produção de alimentos, no agronegócio e na indústria. Mas, essa formidável transformação tecnológica continua avançando e proporcionando a melhoria na produção de alimentos.

Graças a tais transformações, por exemplo, foi possível o cultivo de soja em baixas latitudes (< 15°). Essa leguminosa, que hoje tem destaque no cenário mundial, até 1960 se restringiam a cultivos em regiões de latitude superior a 22°. Após 1970, quebrou-se a barreira fotoperiódica da soja com a introdução da característica juvenildade longa e, possibilitou seu cultivo em regiões com latitude inferior a 15°. O Brasil é pioneiro no cultivo de soja em regiões com latitude inferior a 20°. Outros fatos importantes no decorrer da história são: Revolução Verde (1970), o Sistema Plantio Direto (1980), a Biotecnologia (1990), a Agricultura de Precisão (2000), e diversas outras que surgirão para garantir uma agricultura mais eficiente e sustentável.

Ao deparamos com as frutas, grãos, legumes, tubérculos percebemos a importância da Agronomia para a alimentação da sociedade. Assim, os avanços tecnológicos promovem inúmeras benfeitorias. As perspectivas de avanço na Agronomia são excelentes, pois, conforme a história vem demonstrando, sempre é possível progredir, seja no melhoramento das cultivares, nas práticas de manejo do solo e das plantas, no desenvolvimento de novas técnicas, no aperfeiçoamento dos métodos já existente. Graças ao esforço nas áreas de pesquisa, ensino, extensão e produção, o avanço é constante. Assim, olhando os avanços do passado é possível ter perspectivas positivas, mesmo em um cenário tão pessimista como o da atual pandemia do Covid-19.

O e-book “Agronomia: avanços e perspectivas” têm trabalhos que visam otimizar a produção e/ou promover maior sustentabilidade nas técnicas aplicadas nos sistemas de produção das plantas. Ao longo dos capítulos são abordados os seguintes temas: o cultivo de guaco em diferentes ambientes de luz, as características biométricas de plantas e frutos de variedades de mangabeiras, o desempenho fisiológico de sementes de soja no estresse salino, o uso de fertilizante orgânico na produção de rabanete, métodos de superação de dormência em butiá-azedo, aplicação de micronutrientes na soja, uso de pó de basalto no milho e de pó de ametista na soja e o uso do silício e seus benefícios para agricultura brasileira. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Ciência Agrárias, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este e-book possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para Agronomia. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Os organizadores


SUMÁRIO


APRESENTAÇÃO.....	5
CAPÍTULO I.....	6
CRESCIMENTO E ANATOMIA FOLIAR DE <i>MIKANIA GLOMERATA</i> CULTIVADAS EM DIFERENTES AMBIENTES DE LUZ.....	6
CAPÍTULO II	17
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE FRUTOS DE VARIEDADES DE MANGABEIRA	17
CAPÍTULO III	32
BIOMETRIA DE PLANTAS E ASPECTOS FENOLÓGICOS DE VARIEDADES DE MANGABEIRA (<i>HANCORNIA SPECIOSA</i> GOMES).....	32
CAPÍTULO IV	51
DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA NO ESTRESSE SALINO.....	51
CAPÍTULO V.....	63
PRODUÇÃO DE RABANETE CULTIVADA EM DIFERENTES PROPORÇÕES DE FERTILIZANTE ORGÂNICO.....	63
CAPÍTULO VI	74
ESCARIFICAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA E APLICAÇÃO DE ÁCIDO GIBERÉLICO NA SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA DE SEMENTES DE <i>BUTLA CAPITATA</i> (MART.) BECCARI	74
CAPÍTULO VII.....	81
MICRONUTRIENTES VIA FOLIAR NA CULTURA DA SOJA NO CERRADO PIAUIENSE ...	81
CAPÍTULO VIII	91
COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO SAFRINHA NÃO SÃO INFLUENCIADOS POR DOSES DE PÓ DE BASALTO APÓS DOIS ANOS DE APLICADO	91
CAPÍTULO IX	101
PRODUTIVIDADE E TEOR DE PROTEÍNAS DE GRÃOS DE SOJA CULTIVADAS COM DOSES DE PÓ DE AMETISTA.....	101
CAPÍTULO X	107
O USO DO SILÍCIO E SEUS BENEFÍCIOS PARA AGRICULTURA BRASILEIRA: REVISÃO	107
ÍNDICE REMISSIVO	137


O uso do silício e seus benefícios para agricultura brasileira: revisão

Recebido em: 30/07/2020

Aceito em: 01/08/2020

 10.46420/9786599120862cap10

Gilson Domingos do Mar^{1*} 

Viviane Wruck Trovato² 

Elisângela Dupas³ 

INTRODUÇÃO

O silício (Si) está presente na solução do solo na forma de ácido monomérico ou monossilício, sendo considerado o elemento mais abundante na crosta terrestre (Matychenkov e Snyder, 1996). Embora não seja um nutriente essencial, o Si fornece vários efeitos benéficos as plantas, como aliviar os efeitos prejudiciais de várias tensões, como a seca, salinidade, calor, frio, toxicidade de metais, desequilíbrio de nutrientes, patógenos e insetos de plantas (Chérif et al., 1992, Liang et al., 2007; Guntzer et al., 2012; Hernandez - Apaolaza, 2014; Zhang et al., 2014; Meharg e Meharg, 2015; Vivancos et al., 2015; Guo et al., 2016; Reynolds et al., 2016; Ning et al., 2014).

A importância do Si para as plantas está diretamente relacionada nas interações planta-ambiente, pois confere melhores condições para tolerarem as adversidades do meio, gerando resultados significativos na produtividade e melhoria na qualidade do produto final (Tubana et al., 2016). Essas respostas positivas ao uso do Si foram observadas em várias espécies de plantas, como o sorgo (Hattori et al., 2007; Yin et al., 2013; Ahmed et al., 2014), trigo (Gong e Chen, 2012), milho (Bakhat et al., 2004; Amin et al., 2014), arroz (Jian et al., 2006; Ming et al., 2012), pepino (Ma et al., 2004), cana-de-açúcar (Keeping, 2017), grama azul de Kentucky (Saud et al., 2014), canola (Habibi, 2014), girassol (Gunes et al., 2008), grão de bico (Gunes et al., 2007), soja (Shen et al., 2010; Guazina et al., 2019), alfafa (Liu e Guo,

¹ Doutorando pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rodovia Dourados – Itahum, Km 12 – Cidade Universitária, Cx. Postal 533, CEP: 79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

² Doutoranda pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rodovia Dourados – Itahum, Km 12 – Cidade Universitária, Cx. Postal 533, CEP: 79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

³ Profa. Dra. do Curso de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rodovia Dourados – Itahum, Km 12 – Cidade Universitária, Cx. Postal 533, CEP: 79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

* Autor de correspondência: gilsondomar@hotmail.com

2013) e tomate (Shi et al., 2016).

Para correlacionar a importância do Si e todos os seus benefícios, é importante uma revisão bibliográfica sobre o elemento e suas fontes, para partir disso, gerar informações quanto aos benefícios e vantagens do seu uso.

Diante do exposto, objetivou-se realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso do Si na agricultura brasileira, destacando o modo de ação, a importância e os benefícios de sua utilização nas espécies vegetais.

FONTES DE SILÍCIO

Ao procurar uma fonte viável de silício para a agricultura deve-se pensar nas seguintes características: alto conteúdo de Si solúvel, propriedades físicas adequadas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, baixo custo, relações e quantidades de Ca e Mg equilibradas e ausência de metais pesados (Permatasari et al., 2016).

As fontes de Si para uso agrícola variam entre produtos químicos, minerais naturais e subprodutos das indústrias siderúrgicas. As fontes de Si mais utilizadas hoje na agricultura são: wollastonita, metassilicato de cálcio, silicato de potássio, termofosfato, silicato de cálcio e silicato de magnésio, serpentina e sílica gel (Ning et al., 2016).

As plantas também podem ser consideradas fontes de Si, pois possuem quantidades significativas nos resíduos das mesmas, principalmente nas plantas acumuladoras onde o acúmulo deste elemento na parede é maior e quando entra em estado de decomposição, a liberação de Si é lenta, gerando benefícios ao longo do ciclo, porém são insuficientes para atender a demanda por silício na agricultura (Liang et al., 2015).

Toda sílica que é produzida em organismos vivos, tais como em casca de arroz (Athinarayanan et al., 2015), palha de arroz (Wattanasiriwech et al., 2010), espiga de milho (VELmurugan et al., 2015; Shim et al., 2015) bagaço (Usman et al., 2014; Vaibhav et al., 2014) e de animais (exoesqueletos) podem ser usadas como fonte natural alternativa denominada sílica biogênica (Chaves et al., 2009). Uma característica do Si biogênico é apresentar estrutura similar a consistência de um gel, construída a partir da agregação de partículas menores que 5 nm de diâmetro (Perry e Keeling-Tucker, 2003). Para a formação da sílica biogênica, o Si é absorvido pelas raízes das plantas na forma de ácido monossilícico e ácido polissilícico, sendo transportado para as folhas quase na totalidade. Com a saída da água das plantas pela transpiração, o Si é depositado na parede externa das células da epiderme como sílica gel (Carneiro et al., 2015). Uma outra fonte natural alternativa que pode ser é a terra diatomácea, um pó inerte proveniente de algas diatomáceas fossilizadas de mais de 12.000 espécies

diferentes, que possui a sílica como principal componente. É um material leve e de baixa massa específica aparente, cuja coloração varia do branco ao cinza escuro. A sílica presente tem a capacidade de desidratar os insetos, causando sua morte (Banks; Fields, 1995). O uso de terra diatomácea nas lavouras tem como principais vantagens, quando utilizada na dosagem recomendada, não oferecer riscos à saúde de quem consome os grãos ou de outros seres vivos que venham a ter contato com os grãos tratados com este produto.

No grupo de sílica amorfas sintéticas, temos a sílica gel. Um tipo amorfo de SiO_2 que apresenta estrutura muito porosa. É formada pela acidificação de soluções aquosas de silicato de sódio, o que gera um precipitado gelatinoso. Encontra crescente aplicação na indústria alimentar como agente anti-aglomerante no cacau, sucos de fruta em pó, açúcar e especiarias (Ronda et al., 2015; Greenwood; Earnshaw, 2002).

Há outras fontes de Si que ocorre naturalmente, como a wollastonita e a olivina (Brooks et al., 1999). Todavia existem subprodutos da indústria do aço e do ferro gusa, que são as escórias de siderurgia ricas em Si, que podem atender essa demanda, pois possuem tais características, e algumas delas são fontes promissoras de Si disponíveis.

Fertilizantes de silicato a base de escória são os mais econômicos, referem-se a fertilizantes de silicato de cálcio que são processados utilizando escórias, subprodutos ou resíduos industriais do processamento de ferro e indústrias siderúrgicas. Oficialmente foram tratados como fertilizantes apenas em 1955, onde o Ministério da Agricultura, Florestas e Pescas do Japão tornou-o comercialmente disponível no mercado (Ma; Takashi, 2002).

O fertilizante de silicato de potássio é um produto fabricado com feldspato potássico ou minerais ricos em potassa, por calcinação ou hidrotermia. De acordo com testes em toda China, esses silicatos podem aumentar o rendimento de uma ampla variedade de culturas (Yu; Zhang, 2014), e apenas os silicatos de potássio ou sódio são completamente solúveis em água, geralmente são usados como fertilizantes foliares, pois seu alto custo inviabiliza a aplicação via solo. São rentáveis e eficazes em termos agrícolas, e também sustentáveis, não gerando impactos negativos ao meio ambiente (Liang et al., 2015).

As fontes de Si para utilização na agricultura devem apresentar como características ideais, alta concentração de Si-solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, boa relação e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), baixa concentração de metais pesados e baixo custo.

SILÍCIO NAS PLANTAS

O Si é absorvido pelas plantas preferencialmente na forma de ácido monossilícico ou

o ácido ortossilícico (H_4SiO_4) que são absorvidas pela raiz das plantas (Mitani et al., 2005; Matichenkov; Bocharnikova, 2004), se acumula nos tecidos epidérmicos, e uma camada de membrana de celulose-Si é criada quando os íons Ca e pectina estão presentes, o que fornece proteção à planta (Belanger et al., 2003). O aumento de Si na seiva das plantas leva à polimerização do Si identificada como gel de Si hidratado com moléculas de água (Yamaji et al., 2008).

A concentração de Si difere significativamente nas brotações e raízes das plantas, e essa extensa variação nos diferentes tecidos vegetais é influenciada por vários fatores, dentre diferenças nos mecanismos de captação e transporte de Si (Hodson et al., 2005; Tamai; Ma, 2003)

A absorção de nutrientes pelas plantas depende do potencial da água e da solubilidade dos elementos nos solos. O contato íon-raiz do Si é principalmente via fluxo de massa. Os vasos do xilema são os responsáveis pelo transporte do elemento na planta, e sua distribuição é diretamente dependente das taxas de transpiração dos órgãos. Depois de absorvido o Si é depositado principalmente nas células epidérmicas (Bauer et al., 2016). Embora o Si seja encontrado em abundância nas formas de silicato e oxidase no solo, a solubilidade do Si na solução do solo é um obstáculo para a absorção das plantas, pois o ácido monossilícico é a única forma de Si que as plantas podem absorver.

Sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes do órgão do vegetal. Esta distribuição depende muito da espécie: é uniforme nas plantas que acumulam pouco Si e nas espécies acumuladoras 90% do elemento encontra-se na parte aérea (Ma, 2009; Meena et al., 2014). As plantas podem ser divididas de acordo com sua capacidade de absorção e acúmulo de Si nos órgãos. Esta quantificação é altamente variável entre as espécies (Currie; Perry, 2007).

Por conta da capacidade de cada planta, são divididas em três grupos. As gramíneas absorvem Si da solução do solo de forma passiva, o elemento acompanha o fluxo de massa da água (Myake; Takahashi, 1983) facilitando consequentemente a extração de Si do solo. Plantas de arroz possuem mecanismos específicos de absorção de Si, em que proteínas de membranas são produzidas por expressão de gene específico (Ma; Takashi, 2002). No milho, após a absorção pela planta o Si é depositado na parede da célula vegetal, não se move mais, posteriormente se polimeriza e provoca a formação de uma dupla camada de Si cuticular (Nalin, 2014). Sendo essas consideradas plantas acumuladoras de Si. As plantas acumuladoras exibem teor elevado de Si, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica. Plantas consideradas não-acumuladoras com baixo teor de Si, mesmo com altos níveis no meio,

indicando um mecanismo de exclusão: a maioria das dicotiledôneas absorvem o Si mais lentamente que a absorção de água, o que acaba gerando um aumento na concentração do elemento no meio (Artyszak, 2018).

Mesmo para plantas não acumuladoras de Si, vários autores têm demonstrado que este elemento apresenta efeitos benéficos às plantas, melhorando a resistência das mesmas aos estresses bióticos e abióticos (Guntzer et al., 2012).

Sangster (1978) e Hodson et al. (2005), propuseram uma árvore filogenética de plantas acumuladoras de Si, onde espécies ricas em Si têm geralmente baixas concentrações de cálcio e vice-versa. Eles definiram critérios para diferenciar plantas não acumuláveis de plantas acumuladas:

- "Acumuladoras": concentração de Si acima de 1% e Razão $[Si] / [Ca] > 1$.
- "Não acumuladoras": concentração de Si abaixo de 0,5% e Razão $[Si] / [Ca] < 0,5$.
- Plantas que não atendem a esses critérios são chamadas "Intermediárias".

As vantagens da utilização de silicatos na produção plantas não se restringem somente ao fornecimento de Si para as plantas, pois tais materiais são capazes de promover a elevação dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis, aumentam a disponibilidade de fósforo e reduzem a toxidez de ferro, manganês e alumínio e ainda fornecem micronutrientes e possuem propriedades corretoras da acidez de solos, por possuírem em suas composições constituintes neutralizantes (Aziz et al, 2002).

A importância de aplicação de Si para as plantas está relacionada principalmente as folhas mais eretas com diminuição do auto-sombreamento; à redução do acamamento; à maior rigidez estrutural dos tecidos (Mendes; Souza, 2011). A diminuição do auto-sombreamento influencia diretamente na capacidade fotossintética da planta, aumentando a área de radiação, beneficiando processos realizados pela fotossíntese. A eficiência fotossintética depende da fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e relação entre a concentração interna de CO₂ com a concentração ambiental (Lobo et al., 2014).

A acumulação de Si nos estomas acarreta formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração ocasiona menor necessidade de água pelas plantas. Além disso, os benefícios proporcionados pela adubação silicatada podem resultar em maiores teores de clorofila, altura e diâmetro do colmo bem como ganhos de produtividade (Miranda et al., 2018).

O Si tem um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como

resultado final aumento e maior qualidade na produção. Segundo Ma e Yamaji (2008) a função do Si é proteger a planta de estresses bióticos e abióticos, porém sua função estende-se ainda a biofortificação de frutos que ocorre a partir da adubação silicatada.

A produção de alimentos pelo setor agrícola mundial é afetada severamente por vários agentes bióticos como insetos-praga, fungos, bactérias, vírus e nematóides. Segundo Epstein (2001) estudos demonstram que o suprimento de Si via solo, foliar, ou solução nutritiva, a várias espécies de plantas contribui de forma significativa na redução da intensidade de várias doenças de importância econômica e também é capaz de aumentar a resistência das plantas ao ataque de insetos e patógenos.

O Si pode conferir resistência às plantas pela sua deposição, formando uma barreira mecânica (Goussain, 2002) tornando-as menos acessíveis às enzimas de degradação e dificultando a penetração de hifas de fungos, em razão da maior resistência mecânica (Ma; Takashi, 2002). Doenças economicamente importantes como a mancha marrom no trigo, brusone, queima das bainhas e mancha parda o arroz, além da antracnose do sorgo e danos causados à cultura da cana-de-açúcar por conta da infestação por pragas (Keeping; Meyer, 2006) têm sido eficientemente controladas pelo fornecimento de Si as plantas.

O Si pode agir como ativador de genes e sinalizador na biossíntese de compostos de defesa, em processo denominado de resistência sistêmica adquirida (RSA), que sintetiza compostos como fitoalexinas, fenóis e fenilpropanóides (Fawe, 2001). As fitoalexinas estão temporariamente nos arredores dos locais de infecção, possuem atividade inibidora sobre fungos, bactérias e nematóides. Os compostos fenólicos são bem conhecidos como substâncias fungitóxicas, antibacterianas e antiviróticas (Lo; Nicholson, 2008). Fenilpropanóides são vias que constituem a sequência comum que gera os diferentes grupos de polifenóis e lignina (Stangarlin et al., 2008).

De acordo com Fawcett et al. (2001), o Si promove a formação de uma barreira física, a qual torna as plantas mais resistentes, pois torna os tecidos foliares mais rígidos, dificultando a alimentação de insetos-pragas. Ao se alimentarem das folhas, colmos e raízes, eles enfrentam um desconforto bucal, ao mastigar ou picar essas partes.

Esses estudos demonstram que o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida das plantas pode dar às culturas melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado um aumento e maior qualidade na produção.

SILÍCIO NO BRASIL

Uma das primeiras citações na literatura brasileira, foi o estudo de Catani et al. (1959), sobre o crescimento da cana-de-açúcar variedade Co 419 e a absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e Si em função da idade da planta e nas condições de clima e solo de Piracicaba (SP), instalado em 1956 na Estação Experimental de Cana, "Dr. José Vizioli". Os autores observaram que o fósforo foi absorvido em menor quantidade que o Ca, Mg e mesmo o enxofre (S), entretanto o que chamou a atenção dos pesquisadores foi a elevada quantidade de Si absorvida pela cana-de-açúcar.

Em 1957 foi realizado um ensaio com o uso comparativo de corretivos, escórias de siderurgia versus calcários em solos de várzeas do Vale do Rio Paraíba, pois os mesmos apresentavam acidez de média a elevada e muito pouco uso de corretivos de solos tem sido feito, pelo pequeno número de jazidas de calcário existente na região, insuficiente para atender à demanda desse material para a agricultura. Foram estudadas em seis experimentos instalados com utilização de dois tipos de escórias, provenientes da Usina Siderúrgica Nacional de Volta Redonda e da produção de aço em São Caetano e Moji das Cruzes, em culturas de batata e tomate, e os resultados obtidos atestaram o emprego das escórias. Para sua comercialização, entretanto, se faria necessário alterar o grau de moagem, para que sua granulometria satisfizesse às exigências legais (Gomes et al., 1962)

Baseados nesses resultados, e em experimentos que vinham sendo realizados nos Estados Unidos, desde 1916, Wutcke e Gargantini (1962) em 1957, realizaram um ensaio na usina açucareira Ester em Cosmópolis/SP, de materiais corretivos para avaliar a possibilidade de escórias substituir o calcário, devido este material corretivo estar se tornando oneroso aos agricultores, pois as indústrias estavam usando os corretivos para fabricação de cimento, cal, pedrisco, vidro, mármore e ferro (Guimarães, 1958). Além do mais com a expansão do parque industrial brasileiro havia a necessidade da realização de mais pesquisas para o aproveitamento destas escórias. Os resultados obtidos neste ensaio não diferiram entre si em termos de produtividade da cultura da soja, concluindo com isso a escória, com especificações dentro das exigências legais ser uma opção em substituição ao calcário.

Raj e Camargo (1973), determinaram teores críticos de sílica solúvel para 24 perfis de solos do Estado de São Paulo. Segundo esses pesquisadores, a sílica solúvel não tinha sido estudada no Brasil, principalmente por não ser considerado um elemento essencial às plantas. Manechini e Donzelli (1984) sugeriram incluir Si como fonte alternativa em cana-de-açúcar visando uma maior tecnificação na área de nutrição mineral de plantas e fertilidade do solo

para esta cultura, objetivando aumento de produtividade, uma vez que a extração deste elemento pela cultura da cana-de-açúcar é muito alto, com níveis próximos a extração de N. Pelos benefícios indiretos (resistência que confere as plantas no ataque de pragas e moléstias; influência na absorção de outros elementos e efeito na arquitetura das folhas, tornando-as mais eretas) que este elemento promovia em cana-de-açúcar (Ayres, 1966; Fox et al. 1967), em arroz e outras gramíneas (Jones; Handreck, 1967), mostrando assim uma “essencialidade agrônômica” deste elemento, que passou-se a desenvolver pesquisas buscando métodos eficientes de análise de Si no solo, na planta e nos fertilizantes buscando critérios para aplicação de fertilizantes silicatados.

Segundo Fázio e Gutierrez (1989), alguns experimentos realizados até este momento mostraram que os efeitos dos silicatos, na reação do solo, são diferentes daqueles correspondentes ao calcário, ou seja, apresentam reação mais lenta em doses equivalentes em carbonato de Ca.

Ensaio conduzido em Minas Gerais, municípios de São Gotardo, Felixlândia e Uberaba entre materiais corretivos, com granulometria diferente (escórias de siderurgia x calcário dolomítico) utilizando-se o milho híbrido IIMD-7974 evidenciaram que todos os materiais utilizados atuaram favoravelmente sobre a produção de matéria seca, e que as escórias que passaram 100% na peneira com malhas menores que 0,297 mm de diâmetro e maiores que 0,149 mm de diâmetro tiveram comportamento igualou superior ao do calcário dolomítico, porém, as peneiras mais finas, malhas inferiores a 0,149 mm de diâmetro, apresentaram produção menor (Bahia, 1989).

Em 1996 foi fundada em MG uma das primeiras empresas brasileiras com objetivo de reutilizar os resíduos siderúrgicos, a Silifétil Ambiental. Inicialmente, baseando-se em pesquisas americanas onde naquele país as escórias tinham alto potencial de fósforo, o propósito era obtenção de fertilizantes agrícolas, entretanto como já mostrava as pesquisas realizadas no Brasil que as várias escórias tinham alto potencial corretivos e que poderiam fornecer macros e micronutrientes às plantas, aumentar a absorção pelos vegetais de P, K e S, reduzir o teor de Al trocável no solo e ainda os índices de materiais pesados, como Ti, Pb, Cr, Ni, Ba, V, Cd, Sr, não prejudicavam o desenvolvimento vegetativo das plantas nem causaram danos ao solo, passou então a ser utilizada como corretivo de solo (Piau, 1991; Piau, 1995).

Em artigo publicado pela Potafos, Korndörfer e Datnoff (1995), sugerindo a aplicação de Si no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz, atestaram que até então, os materiais silicatados não tinham sido empregados no Brasil pois esses produtos existentes

continham contaminantes e que poderiam trazer dúvidas nos experimentos. Mesmo recentemente, Marafon e Endres (2011), citam que o Si ainda é pouco utilizado pela falta de oferta de fertilizantes silicatados em todas as regiões do Brasil por onerar 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 Si na agricultura. Além disso, o silicato não era considerado fertilizante nas leis brasileiras e, só recentemente incluído como micronutriente benéfico na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos, conforme o Decreto Lei nº. 4.954, de 14 de janeiro de 2004, autorizando a sua comercialização de forma isolada ou em mistura com outros nutrientes (Sena; Castri, 2010), e pela Instrução Normativa nº. 39, de 08 de agosto de 2018, estabelecidas as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura (Mapa, 2019).

A publicação de Barbosa Filho et al. (2000), trouxe grande incentivo para incremento de pesquisas com o Si nas diferentes culturas cultivadas no país. Segundo esses pesquisadores, entre os métodos estudados para avaliar o Si solúvel no solo onde inclui-se os extratores ácidos, como ácido cítrico, acético e acetato de amônio tamponado a pH 4,0, nem sempre se correlaciona com o Si absorvido pelas plantas e, geralmente, subestima a necessidade de fertilização. Em outros países pesquisadores desenvolveram outros métodos que para as condições brasileiras, estas informações não são encontradas na literatura, havendo necessidade, portanto, de investigações mais detalhadas. Ainda, segundo os mesmos autores, uma vez demonstrada a eficiência do Si em reduzir a incidência de doenças do arroz, a fertilização com Si em combinação com doses reduzidas de fungicidas possa constituir-se numa alternativa mais sustentável do manejo de doenças no ecossistema de cerrado.

Até então poucos trabalhos tinham sido publicados, como demonstrado por Korndörfer (1996), que o Si aumenta a produtividade da cana-de-açúcar, além de proporcionar resistência a pragas e doenças e Korndörfer et al. (1999), onde a absorção do Si reduziu o acamamento de plantas de arroz de sequeiro, pelo aumento da resistência da parede celular. Pesquisando o efeito do Si em populações de pulgão-verde do sorgo, Carvalho et al. (1999), verificou que o Si causou redução na preferência e na reprodução deste inseto. Efeito positivo da escória de siderurgia na produção cana-de-açúcar, tem sido relatado na literatura internacional (Anderson, 1991; Raid et al., 1992) e no Brasil outros autores também relataram efeito benéfico do Si para a produção da cana-de-açúcar (Lima Filho et al., 1999).

Em arroz cultivado em várzea, Korndörfer et al. (2001) observaram aumento médio

de produção de grãos, sustentando a produção de matéria verde e de grãos nos tratamentos com Si, aplicado na forma de silicato de cálcio, semelhantes resultados obtidos por Elawad e Green (1979); Korndörfer e Lepsch (2001) em espécies como arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, aveia, grama 'Kikuyu', grama 'Bermuda' (Elawad; Green, 1979; Korndörfer; Lepsch, 2001). Prado (2000) avaliando a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo, observou que o perfilhamento da cana-de-açúcar foi influenciado positivamente pela aplicação da escória de siderurgia, na cana-planta e cana-soca, alcançando a produtividade de 100 e 75 t ha⁻¹, respectivamente, superiores às obtidas com a testemunha (cana-planta = 89 e cana-soca = 58 t ha⁻¹). Prado e Fernandez (2001), em experimento conduzido a campo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com cana-de-açúcar (SP80-1842), compararam a escória de siderurgia (aciaria) e calcário calcítico acrescido com micronutrientes, equilibrando-se com o da escória, ambos aplicados em doses equivalentes a CaCO₃ iguais a 1,3; 3,6 e 7,5 t ha⁻¹. Essas doses tinham por objetivo elevar a saturação por bases do solo a 50; 75 e 100%. Para o rendimento de colmos e para o perfilhamento, a resposta da cana-de-açúcar (média de dois cortes) foi quadrática e linear em função da aplicação do calcário e da escória, respectivamente. Concluíram que o maior perfilhamento, resultante da aplicação da escória de siderurgia, contribuiu para o maior rendimento de colmos da cana-de-açúcar.

Outras pesquisas além das realizadas principalmente com cana-de-açúcar, arroz e gramíneas em geral, começaram a surgir. Trabalhando com o Si em Cafeeiros arábica cv. Catuaí Vermelho submetidos à alta dose de silicato de Ca, Prado e Fernandes, (2001), verificaram que o cafeeiro apresentou redução do crescimento radicular, porém sem comprometimento da funcionalidade e do desenvolvimento da parte aérea das plantas cultivadas sob boa disponibilidade hídrica e suprimento adequado de nutrientes.

Goussain et al. (2002), avaliaram o desenvolvimento de lagartas alimentadas com folhas de milho retiradas de plantas tratadas com Si, em comparação com lagartas alimentadas com folhas de milho não tratadas e verificaram maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas ao final do 2º ínstar, e maior mortalidade de lagartas individualizadas no 2º e 6º ínstars, quando foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com Si, em comparação com a testemunha. Observaram também que as mandíbulas das lagartas, nos seis ínstars, apresentaram desgaste acentuado na região incisora quando em contato com folhas com maior teor de Si.

Em comparação com o calcário, Korndörfer et al. (2003), atestaram que a aplicação de silicato ao longo de cinco ciclos de cultivo desta cultura a escória de siderurgia e o calcário

calcítico foram semelhantes na correção da acidez do solo.

Tendo em vista o potencial demonstrado pelo silício e pelo ativador sintético benzotriazolol (BTH) como indutores de resistência nas plantas e pelo aumento real da população de moscas brancas na cultura da cana-de-açúcar pode ser utilizada em substituição total ou parcial à aplicação de calcário, e se o solo já estiver corrigido não aplicar mais que 800 kg.ha⁻¹ de silicato (Brassioli et al., 2009). Correa et al. (2005), avaliando o efeito do silicato de cálcio (CaSiO₃) e do BTH na indução de resistência a *Bemisia tabaci* biótipo B em plantas de pepino, concluíram que o silicato de Ca e BTH causaram efeitos negativos na população de mosca-branca pela redução da oviposição, aumento do ciclo biológico e mortalidade na fase de ninfa, apresentando-se assim, como produtos alternativos a serem utilizados no manejo integrado de cultura de pepino-branca.

O Si, independente da forma de aplicação, foliar ou no solo, além de atuar como barreira mecânica, pode agir como elicitador do processo de indução de resistência, aumentando a atividade de enzimas relacionadas à defesa das plantas de trigo, a peroxidase, a polifenoloxidase e a fenilalanina amônia-liase (Gomes et al., 2005), o que também foi observado por Gomes et al. 2009, conduzindo pesquisa visando obter subsídios para o manejo de insetos-praga no cultivo da batata inglesa no sistema orgânico, onde a aplicação de Si, mesmo em condições adversas de temperatura e precipitação, contribuiu para a redução das injúrias de dois importantes desfolhadores, *Diabrotica speciosa* e *Liriomyza spp.*, e não influenciou a produtividade da cultura da batateira.

Rosseto et al. (2005), estudando cultivares de cana-de-açúcar em solos com baixo teor de Si, observaram que a cultivar RB84-5486, que apresenta muito joçal (sinônimo de teor alto de silício), e a cultivar RB85-5035 apresentaram maiores acúmulos de Si. Ao mesmo tempo, apresentaram alta tolerância a períodos de stress hídrico, sugerindo a maior absorção de Si desses cultivares pode estar relacionada com a sua maior resistência à seca.

Nove cultivares de alface cultivadas em sistema hidropônico com sílica gel apresentaram menor tamanho quando comparadas às plantas cultivadas em solução sem Si, apesar de, em ambos os casos, terem alcançado tamanho comercial. As plantas tratadas com Si apresentaram menor incidência da queima dos bordos, anomalia fisiológica. Dessa forma, o Si pode ser uma alternativa viável para produção hidropônica de alface, principalmente quando se leva em consideração as novas tendências de mercado por produtos menores e com boa aparência (Luz et al., 2006).

Em 2007, foi realizado o IV Simpósio Brasileiro de Silício na Agricultura pela Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), *campus* de Botucatu, com coordenação do Dr.

Carlos Alexandre Cruciol. Este evento contou com a apresentação de oitenta trabalhos com temas, interação do Si com as doenças; Si na formação de fitólitos; resistência a alumínio devido ao acúmulo de Si em plantas de cerrado; produção, comercialização de fertilizantes contendo Si e a questão da legislação; análise de Si em solo, plantas e fertilizantes; eficiência da aplicação superficial de silicatos na correção de acidez no sistema de plantio direto e aplicação de Si via fertirrigação, dando um grande incentivo para a realização de novos trabalhos e novas alternativas de pesquisas sobre o Si.

Pereira et al. (2007), avaliando extratores e fontes de Si na cultura do arroz em Neossolo Quartzarênico verificaram que a fonte que proporcionou maior teor de Si às plantas de arroz foi sílica gel, e a pior fonte foi a MB-4. Os extratores apresentaram aumento linear do teor de Si no solo com o incremento das doses de wollastonita. Entre os tratamentos, a maior extração de Si ocorreu com o ácido acético; o cloreto de cálcio foi o extrator com a melhor correlação. O carbonato de amônio e o acetato de amônio, além de apresentarem correlações próximas às do cloreto de Ca, tiveram ainda uma melhor distribuição dos pontos, o que discriminou melhor as variações entre as diferentes fontes de Si.

Em estudo realizado com capim elefante hexaploide Paraíso (*Pennisetum hybridum*), Vilela et al. (2007) constataram um aumento de produção de matéria seca, FDN (fibra em detergente neutro), cálcio (Ca), fósforo (P) e maior digestibilidade da matéria seca da forragem com aplicação de silicato.

A utilização do Si como potencializador e indutor de resistência à patógenos, torna-se adequado para o manejo da pinta preta na cultura do tomate, diminuindo o custo de produção, minimizando os impactos ambientais e diminuindo a quantidade de resíduos nos frutos comercializados (Miranda et al., 2008)

Chaves e Farias (2008), comparando as escórias de siderurgia e calcário em diferentes níveis de saturação de bases em solos incubados, concluíram que as escórias representam uma alternativa recomendável em substituição às fontes tradicionais de corretivos ou fertilizantes, pois as mesmas tiveram uma reação de neutralização da acidez do solo mais rápida.

Reis et al. (2008), verificaram que doses de silício não foram suficientes para reduzir o acamamento no cultivar IAC 201 e não interferiram na produtividade de grãos e rendimento industrial dos cultivares de arroz de terras altas irrigado por aspersão utilizadas.

Diversos estudos demonstraram os efeitos benéficos do Si nas culturas, a sua aplicação contribui para redução de problemas fitossanitários, o que pode contribuir para

redução do uso de agroquímicos. Moreira et al. (2010), avaliando a produtividade da soja submetida a três aplicações de silicato de potássio via foliar, relataram aumento de produtividade da ordem de dezenove sacas por hectare, justificando o incremento pela maior produção de matéria seca das plantas. O fornecimento via foliar eleva os teores de Si além de proporcionar aumento do número de vagens e da produtividade para as culturas da soja (Curvelo; Pereira, 2017), feijão e amendoim (Crusciol et al., 2013), em função do Si depositado na parede celular da epiderme das folhas e colmos forma uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose melhorar o fortalecimento e a rigidez da parede celular, aumentar a resistência ao acamamento, melhorar a interceptação de luz e diminuir a transpiração (Hattori et al., 2005; Gunes et al., 2007; Pulz et al., 2008).

Com o objetivo de identificar as fontes que melhor disponibilizam o Si no solo e proporcionam mais crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz, Ramos et al. (2008), verificaram que para teores de Si na parte aérea não houve diferença entre wollastonita e fontes de silício em pó e granulado, entretanto, para produção de grãos os produtos em pó superaram em 30% as fontes em grânulo, sendo todas fontes significativamente superior à testemunha.

Maior produtividade de grãos e maior número de vagens por planta na cultura da soja submetida à aplicação foliar com Si, evidenciando a eficiência do produto em fornecer Si à cultura da soja foi conseguido por Curvelo e Pereira (2017), enquanto que características genéticas intrínsecas da cultivar, como a população final de plantas, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos não foram alterados pelos tratamentos o que foi observado por Pelúzio et al. (2008).

Existem três locais reconhecidos de deposição de Si na planta: a parede celular, o lúmen celular e os espaços intercelulares nos tecidos das raízes, talos ou na camada extracelular da cutícula. No interior da planta, mais de 90% do total de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silício polimerizado, o qual é de difícil solubilização, e o restante encontra-se na forma coloidal ou iônica. Souza et.al. (2009), avaliando da aplicação de silicato de cálcio sobre a população de ninfas de percevejo castanho das raízes em *Brachiaria brizantha*, concluíram que o silicato de cálcio foi eficiente em reduzir a população de ninfas do percevejo castanho das raízes, aumentar os teores de Ca, Si e pH do solo; aumentar os teores de N, K, Mg e Si na parte aérea da planta e incrementar a produção de massa seca do capim *B. brizantha* cv. Murundu, assim como é incrementada a massa seca e absorção de Si neste capim quando o silicato é associado à adubação (Fonseca et al., 2007).

Em 2009 a Embrapa Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste emitiu a publicação

do livro História e uso do silicato de sódio na agricultura (Lima Filho, 2009) onde são descritos a importância do silício para a vida das plantas e para os seres humanos, processo de fabricação, resultados de pesquisas e interações com outros elementos, que trouxe um excelente suporte de consulta para profissionais que buscam aprofundamento nos estudos sobre o Si na agricultura.

A aplicação de escória siderúrgica no solo aumentou as concentrações foliares de Si e provocou aumento na concentração foliar do Mn e influenciou na redução da concentração foliar do Fe nas variedades de cana-de-açúcar SP791011 e RB72454 respectivamente (Madeiros et al., 2009).

Uma tática recomendada para o manejo de pulgões em trigo é a utilização de inseticidas seletivos, principalmente no tratamento de sementes. Assim, Costa et al. (2009) conduziram uma pesquisa com o objetivo de monitorar o comportamento alimentar de *Schizaphis graminum* alimentado com plantas de trigo tratadas com Si e/ou imidacloprid, além da avaliação de aspectos biológicos do inseto, verificando que as plantas tratadas com silício mostraram-se resistentes a *S. graminum* e de uma maneira geral, a aplicação de Si induziu resistência às plantas de trigo a *S. graminum*, podendo constituir-se numa tática alternativa de manejo de pulgões no início do ciclo desta cultura.

A aplicação de Si via foliar e em fertirrigação, nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango cultivado em casa de vegetação, alterou os teores de ácido cítrico e pH de polpa, elevou os teores totais de açúcares e glicose, reduziu a solubilização da pectina e alterou a luminosidade e coloração interna e externa dos frutos (Figueiredo et al., 2010).

Embora haja inúmeros trabalhos demonstrando o efeito benéfico da adubação com Si sobre o acréscimo da produção de diversas culturas, como, por exemplo, arroz, cana-de-açúcar e batata, entretanto são escassas as informações sobre os benefícios nutricionais do silício para a cultura do milho. Freitas et al. (2011) avaliando o efeito de doses e épocas de aplicação de Si, via foliar, nas características agrônômicas e na produtividade do milho, verificou que todas as variáveis analisadas (altura das plantas e a inserção da primeira espiga, diâmetro de colmo, índice de clorofila foliar, teor foliar de Si, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, foram influenciadas positivamente pela aplicação de silicato de potássio.

A salinidade na solução do solo afeta o crescimento e desenvolvimentos das plantas, e a aplicação de Si tem trazidos benefícios na diminuição da salinidade, diminuindo as forças de retenção e seu efeito osmótico. Esses benefícios foram observados por Santos et al. 2013,

no desenvolvimento de plantas de algaroba, à medida que o nível de salinidade aumenta e o resultado depende muito da presença ou não do Si.

Recentemente tem se buscado obter fontes foliares de Si que tenham mais eficácia, praticidade, menores doses utilizadas e ser adaptável aos pulverizadores normalmente utilizados por muitos produtores, tem se iniciado trabalhos com ácido silícico estabilizado, até então, praticamente inexistem na literatura trabalhos científicos relacionados com a aplicação de Si via foliar, utilizando esta fonte de Si. A aplicação foliar de Si com esta fonte, elevou os teores de N, P, K e Si na folha-bandeira da cultura de aveia-branca, proporcionando aumento da produção de matéria seca da parte aérea, do número de panículas por m², do número de grãos por panícula e da produtividade de grãos, da ordem de 34%. Na cultura do trigo, a aplicação de Si aumentou os teores de K e Si, a produção de matéria seca da parte aérea e o número de espigas por m², refletindo em aumento de 26,9% na produtividade de grãos (Sorato et al., 2012). Crusciol et al. (2013b), trabalhando com esta fonte foliar, obteve maior teor foliar de Si, proporcionando maior número de vagens por planta e, conseqüentemente, maior produtividade de grãos das culturas da soja, feijão e amendoim. A aplicação dessa fonte de Si aumentou os teores foliares de K, Ca e Si nas culturas do arroz e milho, o número panículas por m² do arroz e o número de grãos por espiga do milho, proporcionando maior produtividade de grãos em ambas as culturas (Crusciol et al., 2013a).

Os benefícios que o Si é capaz de promover, tolerância a metais pesados, diminuição na incidência de pragas e doenças, aumento da produtividade, tolerância a seca, entre outros. O efeito de flossilicatos no acúmulo de fitomassa fresca, seca e conteúdo de Si na parte aérea das plantas de milho quando comparado com wollastonita e ao controle, são superiores (Felisberto et al., 2014). Pode ser benéfico na qualidade fisiológica e consequente rendimento de sementes de trigo (Tavares et al, 2014).

Respostas positivas vem sendo obtidas em parâmetros fisiológicos. Em algodoeiro, Ferraz et al. (2014), constataram diferenças significativas para trocas gasosas e eficiência fotoquímica em resposta a aplicação de Si, com aumento da taxa de assimilação de CO₂ e eficiência quântica do FSII e aumento da fluorescência da clorofila “a”.

Como uma ferramenta de manejo no controle de pragas, pesquisas indicam novas frentes de interesse, como o controle de nematoides na cultura do café. A indução de resistência utilizando o silicato de potássio no controle do *Meloidogyne paranaensis* no estado do Paraná foi eficiente para reduzir a população do nematoide, entretanto alguns efeitos adversos foram verificados no desenvolvimento das plantas, se fazendo necessários estudos

posteriores para elucidar as relações bioquímicas e moleculares entre a cultura e o *M. paranaensis* (Roldi et al, 2015).

Pouca ênfase tem sido dada ao efeito do Si no crescimento de plântulas de milho transgênicas. Souza et al. (2015), avaliando o efeito da aplicação de silicato de Ca e Mg no crescimento inicial de milho transgênico (*Zea mays* L., híbrido DKB 310 PRO 2) concluíram que a aplicação de silicato de Ca e Mg afetou significativamente, o índice de velocidade de emergência, proporcionou maior altura de plantas, diâmetro do colmo, área foliar, matéria seca da parte aérea e raiz, devido ao efeito corretivo da acidez e neutralização do Al tóxico, pelo Ca e Mg no solo e aumento no pH e saturação de bases que antes da aplicação dos tratamentos apresentaram valores baixos.

Ao utilizar silicato de potássio, Ludwig et al. (2015) verificaram que o Si apresentou pouco efeito no aumento da produção e redução de doenças do tomate, quando aplicado isoladamente, via fertirrigação, porém, há a possibilidade de seu uso visando a proteção das plantas e o aumento da produtividade do tomateiro, para tanto novos trabalhos deverão ser realizados.

A adubação foliar com silicato de K resultou em plantas de mamoeiro mais vigorosas, com menor estresse aos fatores bióticos e abióticos e proporcionando maior crescimento e acúmulo de massa seca de raízes (Sá et al., 2015).

De acordo com os resultados obtidos por Muraro e Simonetti (2016), a utilização de silicato de K via foliar no milho de 2ª safra (ou safrinha), influenciou no desenvolvimento inicial da cultura nos parâmetros, massa fresca da raiz e da planta inteira, e na produtividade e número de grãos por espiga.

Na tentativa de amenizar estresses abióticos, a adubação silicatada tem se mostrado promissora com efeitos positivos no crescimento, nas trocas gasosas e defesas bioquímicas. Fantinato (2018), avaliou os efeitos de uma possível ação do Si na melhoria do comportamento do cacaueteiro diante do estresse causado pelo vento. A avaliação sobre os efeitos do Si demonstrou que a adubação silicatada atuou de maneira positiva promovendo maior robustez, maiores valores de área e diâmetro caulinar, densidade estomática e espessura da folha com aumento da nervura, epiderme adaxial e parênquima paliçádico, melhoria da eficiência intrínseca do uso da água e menor transpiração, além de ter tornado a atividade enzimática eficiente, proporcionando economia energética.

Estudo realizado por Portela (2018) destaca que a utilização de Si em um programa de manejo de pragas do reduz a produção de ninfas e interfere nos aspectos biológicos do pulgão *Aphis craccivora* em feijão-caupi e de fava. O Si aplicado via foliar promoveu maiores

teores de antocianinas em cultivares de morango. A aplicação de Si foi também eficiente em manter a firmeza dos frutos de ambas as cultivares e os fatores de manutenção de qualidade pós colheita (Munaretto et al, 2018).

O Si pode ser uma alternativa para produtores de base ecológica que visam promover uma agricultura sustentável, principalmente para cultura do milho onde ataque de insetos, principalmente da espécie *Spodoptera frugiperda*. Produtos à base de Si torna a planta menos palatável aumentando o estresse alimentar acarretando em maiores taxas de canibalismo e mortalidade, promovendo a resistência natural das plantas de milho (Marchioro et al, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços que os pesquisadores, produtores, alunos e profissionais vem obtendo na utilização de Si nas diferentes culturas no Brasil, com respostas positivas, possibilitará significativos ganhos de produtividades num futuro breve.

A ampliação de nossos conhecimentos sobre os efeitos benéficos do Si seja em relação a fontes, formas de aplicação, dosagens, absorção, transporte e acúmulo de Si em plantas superiores ampliam novos horizontes.

Novos estudos sobre as espécies que acumulam ou não Si, como são reguladas geneticamente as relações silício-solo-plantas precisam ser mais bem elucidadas. Assim como o papel bioquímico e estrutural do Si na preservação da forma celular e propriedades mecânicas e atuação na defesa contra os estresses bióticos e abióticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adatia MH, Besford AT (1958). Os efeitos do silício em plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva recirculante. *Revista de Botânica*, 58(3): 343-351.
- Ahmed M, Asif M, Hassan F (2014). Augmenting drought tolerance in sorghum by silicon nutrition. *Acta Physiol Plant*, 36: 473-483.
- Amin M, Ahmad R, Basra SMA, Murtaza G (2014). Silicon induced improvement in morpho-physiological traits of maize (*Zea Mays L.*) under water deficit. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(1): 187-196.
- Anderson DL (1991). Soil and leaf nutrient following application of calcium silicate slag to sugarcane. *Fertilizer Research*, 30(1): interactions 9-18.
- Artyszak A (2018). Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality - A Literature Review in Europe. *Plants*, 7(54): 17.
- Athinarayanan J, Periasamy VS, Alhazmi M, Alatihah KA, Alshatwi AA (2015). Synthesis of

- biogenic silica nanoparticles from rice husks for biomedical applications. *Ceramics international*, 41(1): 275-281.
- Ávila FW, Guissan BJ, Marcelo RO, Santos FK (2010). Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. *Revista Ciência Agronômica*, 41(2): 184-190.
- Ayres AS (1966). Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. *Soil Science*, 101: 216-227.
- Aziz T, Gill MA, Rahmatullah (2002). Silicon nutrition and crop production: a review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 39(3): 181-187.
- Bahia VG (1989). Escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. Trabalhos em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 24(4): 489-494.
- Bakhat HF, Hanstein S, Schubert S (2009). Optimal level of silicon for maize (*Zea mays* L. cv Amadeo) growth in nutrient solution under controlled conditions. *Proceedings of the 16th International Plant Nutrition Colloquium*, 4p.
- Banks HJ, Fields PG (1995). Stored-grain Ecosystems. In: Wrigley C, Corke H, Seetharaman K, Faubion J (eds). *Encyclopedia of food grains (2 ed)*, (1): 353-409.
- Barbosa Filho MP, Snyder GH, Prabhu AS, Datnoff LE, Korndörfer GH (2000). Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). *Potafós: Informações Agronômicas*, 89: 1-8.
- Bauer P, Elbaum R, Weiss IM (2016). Calcium and silicon mineralization in land plants: transport, structure and function. *Plant Science*, 180: 746-756.
- Belanger RR, Benhamou N, Menzies JG (2003). Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. tritici). *Phytopathology*, 93(4): 402-412.
- Bona, FD, Mori C, Wiethoiter S (2016). Manejo nutricional na cultura do trigo. *Informações Agronômicas*, 154(3): 1-16.
- Brasil (2004). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. *Inspecção e fiscalização na produção e comércio de fertilizantes*. MAPA: 4556.
- Brasil (2019). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018. *Inspecção e fiscalização na produção e comércio de fertilizantes*. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-39-2018-fert-minerais-versao-publicada-dou-10-8-2018.pdf>. (Acesso: 25/10/2019).
- Brassioli FB, Prado RM, Fernandes FM (2009). Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. *Bragantia*, 68(2): 381-

387.

- Brooks AS, Rozenwald MN, Geohring LD, Lion LW, Steenhuis TS (1999). Phosphorus removal by wollastonite: A constructed wetland substrate. *Ecological Engineering*, 15(2000): 121–132.
- Caires EG, Joris AW, Churka S (2011). Efeitos a longo prazo das adições de cal e gipsita em plantio direto, produtividade de milho e soja e produtividade de milho e soja e propriedades químicas do solo no sul do Brasil. *Rev Bras Ciência do Solo*, 27(2): 45-53.
- Carneiro ME, Magalhães WLE, Muñoz GIB, Nisgoski S, Satyanarayana KG (2015). Preparation and characterization of nano silica from *Equisetum arvense*. *Journal of Bioprocessing and Biotechniques*, 5(1): 7.
- Carvalho SK, Moraes JC, Carvalho JG (1999). Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Anais Sociedade Entomológica do Brasil*, 28: 515-510.
- Casarin V (2016). Dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta visando BPUFs. *Informações Agronômicas*, 164(7): 34-75.
- Castro GS, Mancuso A, Menegale MLC (2009). Silício: Interação com o sistema solo-planta. *Revista de Ciências Agronômicas*, 3(1): 435-454.
- Catani R, Arruda H, Pelegrino D, Bergamin Filho H (1959). A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana de açúcar, Co 419, e o seu crescimento em função da idade. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz De Queiroz*, 16: 167-190.
- Chao YG, Nikolic M, Jun YM, Xi XZ, Chao LY (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10): 14.
- Chaves LHG, Farias CHA (2008). Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. *Revista Caatinga*, 21(5): 75-82.
- Chaves MRM, Dockal ER, Souza RC, Büchler PM (2009). Biogenic modified silica as a sorbent of cadmium ions: preparation and characterization. *Environmental Technology*, 30: 663-671.
- Correa RSB, Moraes JC, Auad AM, Carvalho GA (2005). Silicon and Acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B. *Neotropical Entomology*, 34(3): 429-433.
- Costa AR (2014). Nutrição mineral de plantas vasculares. (*Mestrado em Ciências*) Escola de ciências e tecnologias de Évora. 139p.
- Cremonesi MV, Ramalho B, Golfetto P, Krepki LS, Pauletti V (2019). Marcha de absorção,

- taxa de acúmulo e exportação de micronutrientes e alumínio pelo tabaco (*Nicotianatabacum* L.). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(1): 13-23.
- Crusciol CAC, Soratto RP, Castro GSA, Costa CHM, Ferrari Neto J (2013a). Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2): 404-410.
- Crusciol CAC, Soratto RP, Castro GSA, Costa CHM, Ferrari Neto J (2013b). Leaf application of silicic acid to upland rice and corn. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(6): 2803-2808.
- Currie HA, Perry CC (2007). Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, 100(7): 1383-1389.
- Curvelo, C. R. S.; Pereira, A. I. A. Desempenho agrônômico da soja submetida a aplicação de silício via foliar em ambiente protegido. VI Congresso Estadual de Iniciação Científica e Tecnológica do IF Goiano. 2017. 3p.
- Dalastra C, Oliveira H, Samir G, Huger J (2011). Silício como indutor de resistência no controle dos tripses. *Revista de Ciências Agrotecnologia*, 35(3): 531-538.
- Datnoff LEE, Rodrigues FA, Seebold KW (2001). Silício e nutrição de plantas. *Revista de Nutrição Mineral e Doença Vegetal*, 1(3): 233-246.
- Dechen AR, Nachtigall GR (2007). Micronutrientes. *Revista Nutrição mineral de plantas*, 13(3): 327-354.
- Elawad SH, Green Junior VE (1979). Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *II Riso*, 28: 235-253.
- Epstein E (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(1): 11-17.
- Epstein E, Bloom AJ (2005). Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. *Revista Nutrição de plantas*, 34(6): 400-456.
- Faquin V (2005). Nutrição de plantas. *Informações Agronômicas*, 1(2):162-183.
- Fatinato DE (2018). Efeitos do vento sobre características estruturais, fisiológicas e bioquímicas de mudas de *Theobroma cacao* L. (malvaceae) e uso do silício como amenizador do estresse. Universidade Federal do Espírito Santo (Tese de Doutorado), 86p.
- Fassbender HW (1978). Química de solos com ênfase em solos da América Latina. *Revista de química do solo*, 2(1): 394-398.
- Fawe A, Menezes JG, Chérif M, Belanger RR (2001). Silício e a resistência nas dicotiledôneas. *Revista de Agricultura Elsevier*, 1(4): 380-403.

- Fázio PI, Gutierrez ASD (1989). Uso de corretivos de acidez do solo comercializados no Estado do Espírito Santo. EMCAPA (*Boletim Técnico*, 12), 27p.
- Felisberto G, Fehr RM, Godoy LJG, Felisberto PAC (2014). Filossilicatos: efeitos no crescimento e na nutrição de plantas de milho e no teor de silício do solo. *Agrarian Academy*, 1(2): 60-61.
- Fernandes L, Souza MG, Rosseto HL (2006). Método de extração de sílica da casca do arroz. *Revista de química*, 2(6): 160-163.
- Ferraz RLS, Beltrão NEM, Melo AS, Magalhães ID, Fernandes PD, Rocha MS (2014). Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(2): 735-748.
- Figueiredo FC, Botrel PP, Teixeira CP, Petrazzini LL, Locarno M, Carvalho JG (2010). Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(5): 1306-1311.
- Filgueiras O (2019). Silício na agricultura: mineral é usado para controlar pragas, aumentar produtividade e qualidade de produtos agrícolas. *Revista Pesquisa Fapesp*, 140(2): 72-74, 2007. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2007/10/01/silicio-na-agricultura/>> (Acessado em 12 de abril de 2019).
- Fogaça JRV (2019). Silício. *Revista Brasileira de química*, 2(5): 345-367.
- Fonseca IM, Prado RM, Nogueira TAR, Souza FV, Romualdo LM (2007). Produção de massa seca de plantas de *Brachiaria* no segundo corte em função da aplicação de escória de siderurgia, calcário e nitrogênio. In: Simpósio brasileiro sobre silício na agricultura, 4., 2007. UNESP/FCA. *Anais*: 22-25.
- Fox RL, Silva JA, Younge OR, Plucknett DL, Sherman GD (1967). Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Soil Science Society of America Journal Abstract*, 31: 775-779.
- Freitas LB, Coelho EM, Maia SCM, Silva TRB (2011). Adubação foliar com silício na cultura do milho. *Revista Ceres*, 58(2): 262-267.
- Gasho GJ (2001). Fontes de silício para a agricultura. *Revista de Agricultura Elsevier*, 10(5): 197-208.
- Gomes AG, Gargantini H, Guimarães G, Wutke ACP (1962). Competição entre materiais corretivos (escórias de siderurgia x calcário) em solos de várzea do Vale do Paraíba. *Bragantia*, 21: 777-93.
- Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM (2005). Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62(6): 547-551.
- Gomes, FB, Moraes JC, Neri DKP (2009). Adubação com silício como fator de resistência

- a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, 33(1): 18- 23.
- Gomes LS, Furtado ACR, Souza MC (2019). A sílica e suas particularidades. *Revista Virtual Química*, 10(4): 22- 43, 2018. Disponível em <<http://rvq.s bq.org.br>> (Acessado em 13 de abril de 2019).
- Gong HJ, Chen KM (2012). The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(4): 1589–1594.
- Goussain MM, Moraes JC, Carvalho JG, Nogueira NL, Rossi ML (2002). Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepdoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 31(2):: 305-310.
- Gratão PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA (2005). Diminuição dos efeitos de metais pesados em plantas. *Revista Biologia Funcional das Plantas*, 32(7): 481-494.
- Greenwood NN, Earnshaw A (2002). *Chemistry of The Elements*. (2ed). Elsevier: United Kingdom, 1305p.
- Guimarães JEP (1958). *Problemas técnicos e econômicos da indústria e do consumo de corretivo de acidez no Estado de São Paulo*. 33p.
- Gunes A, Inal A, Bagci EG, Coban S (2007). Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. *Journal of Plant Physiology*, 164(6): 807-811.
- Gunes A, Pilbeam DJ, Inal A, Bagci EG, Coban S (2007). Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. *Journal Plant Interactions*, 2: 105–113.
- Gunes A, Pilbeam DJ, Inal A, Coban S (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(13): 1885-1903.
- Guntzer F, Keller C, Meunier JD (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1): 201-213.
- Guntzer F, Keller C, Meunier JD (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy Sustainable*, 32: 201–213.
- Guo B, Liu C, Ding N, Fu Q, Lin Y, Li H, Li N (2016). Silicon alleviates cadmium toxicity in two cypress varieties by strengthening the exodermis tissues and stimulating phenolic exudation of roots. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(2): 420–429.

- Habibi G (2014). Silicon supplementation improves drought tolerance in canola plants. *Russian Journal Plant Physiology*, 61(6): 784–791.
- Hattori T, Inaga S, Araki H, An P, Morita S, Luxová M, Lux A (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, 123(4): 459-466.
- Hattori T, Sonobe K, Inanaga S, An P, Tsuji W, Araki H, Eneji AE, Morita S (2007). Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2): 177–182.
- Hernandez-Apaolaza L (2014). Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? A review. *Planta*, 240: 447–458.
- Hodson MJ, White PJ, Mead A, Broadley MR (2005). Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of Botany*, 96(6): 1027–1046.
- Jian FM, Tamai K, Yamaji N (2006). A silicon transporter in rice. *Nature*, 440(7084): 688–691.
- Jones HP, Handreck KA (1967). Silica in soils, plants and animals. *Advances Agronomy*, 19: 107-149.
- Keeping MG (2017). Uptake of Silicon by Sugarcane from Applied Sources May Not Reflect Plant-Available Soil Silicon and Total Silicon Content of Sources. *Frontiers in Plant Science*, 8(760): 14.
- Keeping MG, Meyer JH (2006). Silício e a resistência das plantas. *Revista de Aplicação Agrícola*, 130(8): 410-420.
- Keeping MG, Reynolds OL (2009). Silício na agricultura: novos insights, novo significado e crescente aplicação. *Revista Anais de Biologia Aplicada*, 3(2): 153- 155.
- Keeping MG, Reynolds OL (2017). Silício na agricultura: Novos insights, novos significados e aplicações. *Revista de biologia aplicada*, 3(5): 153-154.
- Korndörfer GH, Datnoff L (1995). Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. *Informações Agronômicas*, 70: 1-3.
- Korndörfer GH (2006). Eficiência do silício como corretivo de solo. *Revista Campo e Negócios*, 1(42): 84- 85.
- Korndörfer GH, Gascho GJ (1999). Avaliação de fontes de silício para o arroz. *Revista Brasileira de Arroz*, 3(1): 313-316.
- Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; Camargo, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio. (GPSi-IACIAG-UFU, *Boletim Técnico*, 1), 23p.
- Korndörfer GH, Snyder GH, Ulloa M, Powel G, Datnoff LE (2007). Análises de silício na

- planta de arroz. *Revista Nutrição de Plantas*, 3(1): 171-184.
- Korndörfer GH; Arantes VA, Corrêa GF, Snyder GH (1999). Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(3): 635-641.
- Korndörfer GH, Lepsch I (2001). Effect of silicon on plant growth and yield. In: Datnoff L E, Korndörfer GH, Snyder GH (eds.). *Silicon in agriculture*, 1: 133-147.
- Korndörfer GH, Snyder GH, Uchoa G, Datnoff LE (2001). Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *Journal of Plant Nutrition*, 24: 1071-1084.
- Korndörfer GH, Pereira HS, Nolla A (2003). Análise de silício: solo, planta e fertilizante. (GPSi- IACIAG-UFU, *Boletim Técnico*, 2), 34p.
- Lana RMQ, Korndörfer GH, Zanao Junior L, Silva AF, Lana AMQ (2003). Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Bioscience Journal*, 19: 15-20.
- Liang YC, Sun WC, Zhu YG, Christie P (2007). Mechanisms of silicon mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, 147: 422-428.
- Liang Y, Nikolic M, Belanger R, Gong H (2015). Silicon sources for agriculture. *Silicon in Agriculture*, 1: 225-232.
- Lima Filho OF (2009). *História e uso do silicato de sódio na agricultura*. Embrapa Agropecuária Oeste, 112 p.
- Lima Filho OF, Lima MTG, Tsai SM (1999). O silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, 87: 1-7.
- Liu HX, Guo ZG (2013). Forage yield and water use efficiency of alfalfa applied with silicon under water deficit conditions. *The Philippine Agricultural Scientist*, 96(4): 370-376.
- Lorini I, Ferreira AF, Dememan NA, Martins RRD (2011). Terra de diatomáceas como alternativa no controle de pragas de milho armazenado em propriedade familiar. *Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, 2(4): 32-36.
- Ludwig F, Behling A, Schmitz JAK (2015). Silício na produção e qualidade fitossanitária do tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Scientia Agraria Paranaensis*, 14(1): 60-66.
- Luz JM, Guimarães STMR, Korndörfer GH (2006). Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. *Horticultura Brasileira*, 24: 295-300.
- Ma CC, Li QF, Gao YB, Xin TR (2004). Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 50(5): 623-632.
- Ma, JF (2009). Silicon uptake and translocation in plants. In: *Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, Department of Plant Sciences*, 7p.

- Ma JF, Takashi E (2002). Efeitos do silício na produção de pepinos. *Revista de Ciências do Solo e Nutrição de Plantas*, 29(3): 71-83.
- Ma JF, Takashi E, Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (2001). Silício na agricultura. *Revista Nutrição Vegetal*, 3(1): 17-39.
- Ma, JF, Yamaji N (2008). Funções e transporte de silício nas plantas. *Revista Ciências da vida Celular e Molecular*, 1(1): 349- 350.
- Madeiros LB, Vieira AO, Aquino BF (2009). Micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar: escória siderúrgica aplicado no solo. *Engenharia Ambiental*, 6(1): 027-037.
- Malavolta, E (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. Editora Ceres, 631p.
- Malvezi KED, Zano Júnior LA, Müller L, Rosa FRT, Oliveira JCS, Tullio GF (2015). Dinâmica de nutrientes do solo em sistema de plantio direto. *Acta Iguaçu*, 4(3): 10-30.
- Manechini C, Donzelli JL (1984). *Recomendação da adubação e calagem com base na análise e características dos solos: princípios e aplicações*. Copersucar.
- Marafon AC, Endres L (2011). Adubação silicatada em cana-de-açúcar. Embrapa Tabuleiros Costeiros (*Documentos*, 165), 46 p.
- Marchioro ST, Pomari AF, Fernandes ACPP, Sebben MF (2019). Mortalidade e Canibalismo de *Spodoptera frugiperda* em Milho Tratado com Silício. *Revista Cadernos de Agroecologia*, 14(1): 12-16.
- Matichenkov V, Bocharnikova E (2004). Si in horticultural industry. *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops*, 2: 217–228.
- Matychenkov VV, Snyder GS (1996). Mobile silicon-bound compounds in some soils of Southern Florida. *Eurasian Soil Science*, 12: 1165–1173.
- Meena VD, Dotaniya ML, Coumar V, Rajendiran S, Kundu S, Rao AS (2014). A Case for Silicon Fertilization to Improve Crop Yields in Tropical Soils. *Biological Sciences*, 84(9): 505-518.
- Meharg C, Meharg AA (2015). Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? *Environ. Exp. Bot.* 120: 8–17.
- Mendes LS, Souza CHE, Machado VJ (2011). Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. *Revista do Centro Universitário de Patos de Minas*, 2(1): p. 51-63.
- Ming DF, Pei ZF, Naeem MS, Gong HJ, Zhou WJ (2012). Silicon alleviates peg-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198: 14–26.
- Miranda GB, Valadares Junior R, Moraes WB, Cardoso CR, Jesus Junior WC, Silva MVDA

- (2008). Manejo Integrado da Pinta Preta do Tomateiro com o Uso de Silício e Fungicidas. In: *Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Anais*, 3p.
- Miranda L, Silva P, Moraes TR, Santos JRE, Carvalho F D, Viana L, Pardo J, Maluf RP (2018). Aplicação de silício na cultura do milho. *Revista Ciência Agroambientais*, 14(2): 1-6.
- Mitani N, Jian FM, Iwashita T (2005). Identification of the silicon form in xylem sap of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Cell Physiology*, 46(2): 279–283.
- Moreira AR, Fagan EB, Martins KV, Souza CHE (2010). Resposta da cultura da soja a adubação de silício foliar. *Bioscience Journal*, 26(3): 413-423.
- Munaretto LM, Botelho RV, Resende JTV, Schwarz K, Sato AJ (2018). Productivity and quality of organic strawberries pre-harvest treated with silicon. *Horticultura Brasileira*, 36: 040-046.
- Munaro MF, Simonetti APMM (2016). Aplicação foliar de silício no milho 2 a safra: Influência na produtividade. *Revista Cultivando o Saber*, 9(4): 559-568.
- Myake KL, Takashi E (1983). Solo fertilizado e reserva de silício em plantas. *Revista Kyoto*, 5(2): 112-123.
- Ning D, Liang Y, Liu Z, Xiao J, Duan A (2016). Impacts of Steel-Slag-Based Silicate Fertilizer on Soil Acidity and Silicon Availability and Metals-Immobilization in a Paddy Soil. *Plos One*, 11(12): 15.
- Pelúzio JM, Fidelis RR, Almeida Júnior AJ, Santos GR, Didonet J (2008). Comportamento de cultivares de soja sob condições de várzea irrigada no sul do estado do tocantins, entressafra 2005. *Bioscience Journal*, 24(1): 75-80.
- Pereira HS, Barbosa NC, Carneiro MAC, Korndörfer GH (2007). Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2): 239-247.
- Pereira HS, Barbosa NC, Carneiro MAC, Korndörfer GH (2007). Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. *Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2): 239-247.
- Pereira PJ, Rezende PM, Malfitano SC, Lima RK, Corrêa LVT, Carvalho ER (2007). Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja. *Revista de Ciência e Agrotecnologia*, 34(4): 908-913.
- Permatasari N, Suchahya TN, Nandiyanto ABD (2016). Review: Agricultural Wastes as a Source of Silica Material. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 1(1): 82-106.
- Perry CC, Keeling-Tucker T (2003). Model studies of colloidal silica precipitation using biosilica extracts from *Equisetum telmateia*. *Colloid and Polymer Science*, 281: 652-664.

- Piau WC (1995). Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.). CENA/USP (*Tese Doutorado*), 124p.
- Piau WC (1991). Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante. CENA/USP (*Tese Mestrado*), 99p.
- Portela GLF (2018). Indutores de resistência ao pulgão *Aphis craccivora* Koch, 1854 em feijão-caupi (*Vigna unguiculata*(L.) Walp e fava. Universidade Federal do Piauí. (*Tese Doutorado*), 66 p.
- Prado RM, Fernandes FM (2001). Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 201-209.
- Prado RM, Fernandes FM (2001). Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(9): 1199-1204.
- Pulz AL, Cruscicol CAC, Lemos LB, Soratto RP (2008). Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *Revista Ciência do Solo*, 3(1): 151-159.
- Queiroz DL, Camargo JMM, Dedecek RA, Oliveira EB, Zano KMR, Melido RCN (2018). Absorção e translocação de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. *Revista Ciência Florestal*, 28(1): 632-640.
- Raid RN, Anderson DL, Ulloa MF (1992). Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. *Crop Protection*, 11: 84-88.
- Raij BV, Camargo AO (1973). Sílica solúvel em solos. *Bragantia*, 32(11): 223-236.
- Ramos LA, Korndörfer GH Nolla A (2008). Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. *Bragantia*, 67(3): 751-757.
- Reis MA, Arf O, Silva MG, Sá ME, Buzetti S (2008). Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. *Acta Scientiarum Agronomy*, 30(1): 37-43.
- Reynolds OL, Padula MP, Zeng R, Gurr GM (2016). Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 7(744): 13.
- Rodrigues FA, Oliveira LA, Korndörfer AP, Korndörfer GH (2011). Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Revista de Informações Agronômicas*, 1(134): 14-20.
- Roldi M, Dias-Arieira CR, Dorigo OF, Silva AS, Machado ACZ (2015). Controle de

- Meloidogyne paranaensis em cafeeiro mediado pela aplicação de silício. *IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 4p.
- Ronda L, Bruno S, Campanini B, Mozzarelli B, Abbruzzetti A, Viappiani C, Cupanee A, Levantino M, Bettati S (2015). Immobilization of Proteins in Silica Gel: Biochemical and Biophysical Properties. *Current Organic Chemistry*, 19(1): 17.
- Sá FVS, Araújo JL, Oliveira FS, Silva LA, Moreira RCL, Silva Neto AN (2015). Influence of silicon in papaya plant growth. *Científica*, 43(1): 77–83.
- Sangster AG (1978). Silicon in roots of higher plants. *American Journal of Botany*, 65: 929–935.
- Santos LCA, Moura SR, Barreto LP (2013). Efeito da salinidade sobre o crescimento inicial e nutrição mineral de algaroba (prosopis juliflora) submetida à aplicação de silício. *XIII Jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX*. 3p.
- Santos MMM (2018). Biofortificação do tomateiro com silício via pulverização foliar com diferentes fontes. UEP/FCAV (*Tese de Mestrado*), 42p.
- Saud S, Li X, Chen Y, Zhang L, Fahad S, Hussain S, Sadiq A, Chen Y (2014). Silicon application increases drought tolerance of Kentucky Bluegrass by improving plant water relations and morphophysiological functions. *The Science World Journal*, 2014: 10.
- Savio FL, Silva GC, Teixeira IR, Borém A (2011). Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. *Revista Ciências Agrárias*, 32(1): 103-110.
- Sena, M. C.; Castro, S. H (2010). Legislação e fiscalização do uso de silício na agricultura. In: *Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura*, 5, Anais: 183-202.
- Sengik ES (2003). Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas. *Revista Ciências Agrárias*, 1(2): 22-46.
- Shen XF, Zhou YY, Duan LS, Li ZH, Eneji AE, Li JM (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal Plant Physiol*, 167: 1248–1252.
- Shi Y, Zhang Y, Han W, Feng R, Hu Y, Guo J, Gong H (2016). Silicon enhances water stress tolerance by improving root hydraulic conductance in *Solanum lycopersicum* L. *Frontiers in Plant Science*, 7(196): 15.
- Shim J, Velmurugan P, Oh BT (2015). Extraction and physical characterization of amorphous silica made from corn cob ash at variable pH conditions via sol gel processing. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, 30: 249-253.
- Soratto RP, Crusciol CAC, Castro GSA, Costa CHM, Ferrari Neto J (2012). Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 1538-1544.

- Souza EA, Moraes JC, Amaral JL, Liberato RD, Bonelli EA, Lima LR (2009). Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *Brachiaria rizantha* cv. marandu sobre a população de ninfas do percevejo castanho das raízes *Scaptocoris carvalhoi* Becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(6): 1518-1526.
- Souza JPF, Martins GLM, Pereira AC, Binotti FFS, Maruyama WI (2015). Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. *Revista de Agricultura Neotropical*, 2(3): 13–17.
- Taiz L, Zeiger E (2010). Fisiologia vegetal envolvendo silício. *Revista de fisiologia vegetal*. 8(2): 72-81.
- Tamai K, Ma JF (2003). Characterization of silicon uptake by rice roots. *New Phytologist*, 158(3): 431–436.
- Tavares LC, Fonseca DAR, Rufino CA, Oliveira S, Brunos AP, Villela FA (2014). Adubação silicatada em trigo: qualidade e rendimento de sementes. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 113(1): 94-99.
- Tubana BS, Babu T, Datnoff LE (2016). A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture: History and Future Perspectives. *Soil Science*, 181(9): 10.
- Ueno RK, Neumann M, Marafon F, Basi S, Rosário JG (2011). Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas à produção de milho para forragem. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, 4(1): 182–203.
- Usman AM, Raji A, Waziri NH, Hassan MA (2014). A Study on silica and alumina potential of the savannah bagasse ash. *Journal Of Mechanical And Civil Engineering*, 11(3): 48-52.
- Vaibhav V, Vijayalakshmi U, Roopan SM (2014). Agricultural waste as a source for the production of silica nanoparticles. *Spectrochimica acta part A. Molecular And Biomolecular Spectroscopy*, 139: 515-520.
- Velmurugan P, Shim J, Lee KJ, Cho M, Lim SS, Seo SK, Cho KM, Bang SK, Oh BT (2015). Extraction, characterization, and catalytic potential of amorphous silica from corn cobs by sol-gel method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29: 298-303.
- Vilela H, Andrade RA, Vilela D (2019). Efeito de níveis de Silmag (Silicato) sobre a correção do solo, produção e valor nutritivo do Capim Elefante Paraíso (*Pennisetum hybridum*). *Agronomia o portal da ciência e tecnologia*. Disponível em http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_efeitos_niveis_silmag.htm (Acesso em: 23/10/2019).
- Vitti GC, Domeniconi CG (2014). Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.

Revista FUNEP. 10(4): 32-37.

- Vivancos J, Labbe C, Menzies JG, Belanger RR (2015). Silicon-mediated resistance of *Arabidopsis* against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. *Molecular Plant Pathol*, 16: 572–582.
- Wattanasiriwech S, Wattanasiriwech D, Svasti J (2010). Production of amorphous silica nanoparticles from rice straw with microbial hydrolysis pretreatment. *Journal of non-crystalline solids*, 356(25): 1228-1232.
- Wutke ACP, Gargantini H (1962). Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. *Bragantia*, 21: 795-805.
- Yamaji N, Mitatni N, Jian FM (2008). A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. *The Plant Cell*, 20(5): 1381–1389.
- Yin LN, Wang SW, Li JY, Tanaka K, Oka M (2013). Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(11): 3099–3107.
- Yu Z, Zhang YF (2004). Silício como agente contra salinização em pepinos. *Revista Planta e Ciência*, 167(564): 345-367.
- Zhang Q, Yan C, Liu J, Lu H, Duan H, Du J, Wang W (2014). Silicon alleviation of cadmium toxicity in mangrove (*Avicennia marina*) in relation to cadmium compartmentation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(2): 233–242.

ÍNDICE REMISSIVO

A

adaptação..... 13, 22, 52, 53, 93, 98
 ametista..... 103, 105, 106, 107, 108
 Arecaceae..... 75, 80, 81

B

biometria.....33, 36
 brotação..38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46,
 47, 48
Butia capitata..... 75, 76, 77, 78, 79, 80
Butia Capitata (Mart)..... 75

C

cerrado ... 37, 38, 47, 49, 75, 76, 84, 87, 89,
 90, 117, 120
 cloreto de sódio..... 53, 54, 55, 56, 60, 61
 coquinho-azedo.....75, 77, 79, 80

D

dormência das sementes.....76, 79

E

escarificação física75, 76, 77, 78
 estresse abiótico..... 53

F

fenologia 31, 32, 38, 43, 50, 51
 fitomassa..... 11, 15, 17, 70, 123
 floração ..26, 33, 34, 38, 39, 41, 42, 43, 44,
 45, 46, 47, 48

G

germinação .. 27, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60,
 61, 62, 63, 75, 77, 78, 79, 80, 81
Glycine max..... 63, 82, 90, 92, 103
 guaco7, 8, 13, 15, 17

H

Hancornia speciosa Gomes 18, 30, 31, 32,
 33, 34, 49, 50, 51
 híbrido.....95, 96, 97, 100, 116, 124

M

mangaba. 18, 19, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31,
 32, 34, 38, 45, 49, 50

milho.... 90, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100,
 101, 109, 110, 112, 116, 118, 122, 123,
 124, 125, 127, 129, 130, 132, 134, 135,
 137

N

NaCl..53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63

P

palmeiras 75, 81
 pirênio..... 76, 77
 Pirênio 77
 pó de basalto..92, 93, 95, 98, 99, 100, 101,
 107, 108
 produção de frutos ..21, 22, 23, 24, 25, 26,
 27, 29, 30, 36, 44
 produtividade..... 13, 19, 22, 23, 25, 26, 27,
 53, 61, 64, 65, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89,
 93, 94, 98, 99, 104, 106, 107, 109, 113,
 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122,
 123, 124, 127, 129, 130, 132, 134, 135
 proteína52, 104, 106, 107

Q

qualidade da luz..... 13
 qualidade fisiológica.....52, 56, 61, 62, 123

S

safrinha.....92, 93, 95, 97, 98, 100, 124
 salinidade.....53, 54, 57, 59, 60, 62, 71, 72,
 109, 122, 136
 sementes 21, 29, 33, 34, 38, 50, 52, 53, 54,
 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 75,
 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 89, 90, 94, 95,
 98, 100, 105, 122, 123, 137
 soja...52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62,
 63, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93,
 94, 95, 98, 99, 100, 103, 104, 105, 106,
 107, 108, 109, 115, 121, 123, 127, 128,
 134
 superação de dormência 75, 77, 78, 80

V

vigor..... 53, 60, 61, 62, 63, 80



Alan Mario Zuffo

Graduado em Agronomia pela UNEMAT. Mestre em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) UFPI. Doutor em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) UFLA. Pós-Doutorado em Agronomia na UEMS. Prof. UFMS em Chapadão do Sul.



Jorge González Aguilera

Graduado em Agronomia pelo ISCA-B (Cuba). Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (Cuba). Mestrado em Fitotecnia e Doutorado em Genética e Melhoramento pela UFV e Pós-Doutorado na Embrapa Trigo. Prof. UFMS em Chapadão do Sul.

ISBN 978-659912086-2



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