

Potencial do silício na produtividade e redução de danos da lagarta-do-cartucho em plantas de milho

Potential of silicon in the productivity and harm reduction of caterpillar-cartridge in maize plants

Potencial del silicio en la productividad y reducción de daños de caterpillar de cartucho en plantas de maíz

Recebido: 27/09/2022 | Revisado: 10/10/2022 | Aceitado: 12/10/2022 | Publicado: 16/10/2022

Antônio Natanael Soares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6960-3956>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: natanaelsoares05@gmail.com

Antônio Leonício Ferreira da Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8057-7197>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: alferreira92@gmail.com

Ludmila Oliveira Campos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3429-4716>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: ludmilaoliveiracampos@aluno.uespi.br

Daniel Gomes e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9949-9010>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: danielgomessilva@aluno.uespi.br

Carlos Humberto Aires Matos Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8375-9631>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: carloshumberto@ufpi.edu.br

Fabrcio Custódio de Moura Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4319-635X>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: fabrcio.custodiogoncalves2021@gmail.com

Luís Gonzaga Medeiros Figueiredo Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0938-3063>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: luisjr@cca.uespi.br

Francineuma Ponciano de Arruda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5384-1482>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: neuma.arruda@cca.uespi.br

Resumo

O efeito da aplicação com silício sobre a indução de resistência de plantas a pragas tem sido bastante discutido, bem como seus benefícios na nutrição das plantas. No entanto, ainda não se sabe qual fonte e a dose desse nutriente confere ao milho maior produtividade e resistência a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) sob condições de clima semiárido. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de fontes e doses de silício sobre a produtividade e a resistência de plantas de milho verde BRS 3046 à *S. frugiperda* nas condições do município de Teresina, PI. Foram conduzidos, paralelamente, dois experimentos em delineamento de blocos casualizados e esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. No experimento I, as parcelas foram constituídas por doses de silicato de potássio (0,0, 1,0, 2,0, 4,0 e 6,0 L ha⁻¹) e no experimento II, por doses de ácido silício (0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 kg ha⁻¹), avaliados aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência. Foram avaliados o nível de dano foliar, número e percentagem de plantas danificadas, número de folhas vivas, número de lagartas nas espigas, altura de plantas, peso médio de espigas e produtividade. O silicato de potássio e ácido silício, respectivamente, nas doses de até 6,0 L ha⁻¹ e 2,0 kg ha⁻¹ não modificam parâmetros de resistência à *S. frugiperda* e de produtividade de milho BRS 3046. As fontes e doses de Si não proporcionam benefícios a produtividade e não atenuam danos provocados pela *S. frugiperda* em plantas de milho, BRS 3046.

Palavras-chave: Controle de pragas; Nutrição de plantas; *Zea mays*.

Abstract

The effect of silicon application on the induction of plant resistance to pests has been widely discussed, as well as its benefits in plant nutrition. However, it is not yet known which source and dose of this nutrient give maize greater productivity and resistance to caterpillar-cartridge (*Spodoptera frugiperda*) under semi-arid climate conditions. The objective of this work was to evaluate the effect of sources and doses of silicon on yield and resistance of green maize BRS 3046 plants to *S. frugiperda* in the conditions of Teresina, PI. Two experiments were carried out, in a randomized block design and split-plot design, with four replications. In experiment I, the plots were constituted by doses of potassium silicate (0.0, 1.0, 2.0, 4.0 and 6.0 L ha⁻¹) and in experiment II, by doses of silicon acid (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 kg ha⁻¹), evaluated at 15, 30, 45 and 60 days after emergence. The level of leaf damage, number and percentage of damaged plants, number of live leaves, number of caterpillars on ears, plant height, average ear weight and productivity were evaluated. Potassium silicate and silicon acid, respectively, at doses of up to 6.0 L ha⁻¹ and 2.0 kg ha⁻¹ do not change parameters of resistance to *S. frugiperda* and yield of BRS 3046 maize. The sources and doses of Si do not provide benefits to productivity and do not attenuate damage caused by *S. frugiperda* in maize plants, BRS 3046.

Keywords: Pest control; Plant nutrition; *Zea mays*.

Resumen

El efecto de la aplicación de silicio en la inducción de resistencia de las plantas a las plagas ha sido ampliamente discutido, así como sus beneficios en la nutrición vegetal. Sin embargo, aún no se sabe qué fuente y dosis de este nutriente otorgan al maíz mayor productividad y resistencia al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en condiciones de clima semiárido. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de fuentes y dosis de silicio sobre el rendimiento y resistencia de plantas de maíz verde BRS 3046 a *S. frugiperda* en las condiciones de Teresina, PI. Se realizaron dos experimentos, en un diseño de bloques al azar y en un diseño de parcelas divididas, con cuatro repeticiones. En el experimento I, las parcelas estuvieron constituidas por dosis de silicato de potasio (0.0, 1.0, 2.0, 4.0 y 6.0 L ha⁻¹) y en el experimento II, por dosis de ácido silíceo (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 kg ha⁻¹), evaluados a los 15, 30, 45 y 60 días después de la emergencia. Se evaluó el nivel de daño foliar, número y porcentaje de plantas dañadas, número de hojas vivas, número de orugas en mazorcas, altura de planta, peso promedio de mazorca y productividad. El silicato de potasio y el ácido de silicio, respectivamente, en dosis de hasta 6,0 L ha⁻¹ y 2,0 kg ha⁻¹ no modifican los parámetros de resistencia a *S. frugiperda* y rendimiento del maíz BRS 3046. Las dosis de Si no brindan beneficios a la productividad y no atenúan los daños causados por *S. frugiperda* en plantas de maíz, BRS 3046.

Palabras clave: Control de plagas; Nutrición vegetal; *Zea mays*.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal amplamente disseminado no Brasil e no mundo, sendo muito utilizado na alimentação humana, animal e como matéria-prima para a indústria (Miranda, 2018). No Brasil é produzido na maioria das propriedades agrícolas, desde pequenas propriedades rurais, como cultura de subsistência, à grandes áreas com uso de tecnologias e obtenção de elevadas produtividades. Na safra 2021/2022 sua produção superou 117 milhões de toneladas, com produtividade média de 5.596 kg ha⁻¹ (Conab, 2021). Ocupando uma posição de destaque entre os principais produtores mundiais, o Brasil está em terceiro lugar no ranking mundial de produção de milho em grão. Em relação às exportações, o Brasil encontra-se em segundo lugar, perdendo apenas para os Estados Unidos, maior produtor mundial (FIESP, 2019).

Embora a maior parcela da produção mundial de milho seja destinada à produção de grãos, seu cultivo destinado a produção de milho verde tem aumentado significativamente, em especial na região Nordeste do Brasil, onde o mesmo é cultivado durante todo o ano, inclusive sob condições de irrigação. No entanto, essa cultura ainda apresenta baixas produtividades na região (Caldarelli & Bacchi, 2012; Cruz et al., 2013; Nascimento et al., 2017), sendo influenciada direta ou indiretamente por diversos fatores, tanto bióticos quanto abióticos.

Dentre os fatores considerados limitantes para a produção de milho, está o ataque de pragas nas áreas de cultivo, em especial de lagartas. Segundo Waquil e Vilella (2003), a lagarta-do-cartucho-do-milho (*Spodoptera frugiperda*, J.E. Smith, 1797) é considerada praga-chave dessa cultura, por causar enormes prejuízos a produção.

A *S. frugiperda* é amplamente distribuída em plantio de milho e causa grande impacto econômico, por ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da cultura. Ataca as espigas e as folhas do cartucho, destruindo-as completamente, com

isso provoca a diminuição da área fotossintética da planta, gerando perdas significativas da produtividade dessa cultura (Palma, 2012).

Como alternativa de auxílio ao controle de *S. frugiperda*, práticas culturais de manejo que aumentem o grau de resistência das plantas estão sendo cada vez mais utilizadas. Uma dessas práticas é a adubação com silício (Si), que pode conferir resistência nas culturas a essas pragas (Etesami & Jeong, 2018).

Estudos revelam que o Si beneficia o crescimento e a resistência das plantas à problemas fitossanitários, como o ataque de insetos e patógenos, formando uma barreira de resistência mecânica proporcionada pela deposição de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$) nos tecidos foliares, além auxiliar na produção de compostos fenólicos (Souza et al., 2015; Yaghubi et al., 2019), que, por sua vez intensifica a defesa das plantas. Nogueira et al. (2018) verificaram sob casa de vegetação, diminuição do peso e maior mortalidade de *S. frugiperda* na fase larval aos 15 dias de vida, quando alimentadas com folhas de arroz tratadas com adubação a base de Si, fato que pode ter sido ocasionado por maior rigidez dos tecidos foliares devido ao transporte e deposição do Si nas células epidérmicas da parte aérea das plantas, dificultando a alimentação destes insetos. Ferreira et al. (2022) verificaram que o número de lagarta-do-cartucho (*S. frugiperda*) por espiga diminuem com o aumento das doses de silicato de potássio (K_2SiO_3), tanto via foliar como aplicado no solo, reforçando a ação benéfica do Si sobre a incidência de lagartas em espigas de milho verde BRS 3046. No entanto, esses autores demonstram ainda que à aplicação de silicato de potássio (K_2SiO_3), via solo e foliar, não influencia a produtividade de plantas de milho verde BRS 3046.

Dessa forma, para potencializar o efeito do Si, um fator importante é a escolha da fonte e da dosagem a ser aplicada. Para Reis et al. (2007), a aplicação de maiores quantidades de fontes de Si possibilita melhores respostas de plantas e, assim sendo, os fatores limitantes das doses são a relação custo/benefício e a capacidade corretiva dos silicatos, podendo elevar o pH acima do desejado e provocar desequilíbrios nutricionais por reações de insolubilização (Epstein, 1994). Dentre as fontes de silício, o silicato de potássio tem sido a mais estudada (Ma & Yamaji, 2008).

Em geral, a adubação via foliar pode facilitar a resposta das plantas as doses de Si, além de possibilitar sua aplicação em conjunto com fungicidas e inseticidas (Souri et al., 2021). Entre as fontes alternativas para o fornecimento desse elemento para as plantas, tem-se o ácido silícico com 42% de Si, que quando diluído em água, favorece a absorção pela planta, além da possibilidade de utilizar baixas concentrações do produto.

Diante do exposto, e, considerando que o elemento Si pode propiciar um efeito positivo na indução de resistência em plantas do milho (*Z. mays*) a problemas fitossanitários, como pragas e doenças, e que, este elemento também proporciona maiores ganhos produtivos, é necessário estudar o efeito de diferentes fontes e doses de Si sobre a indução de resistência e possível controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) na cultura do milho.

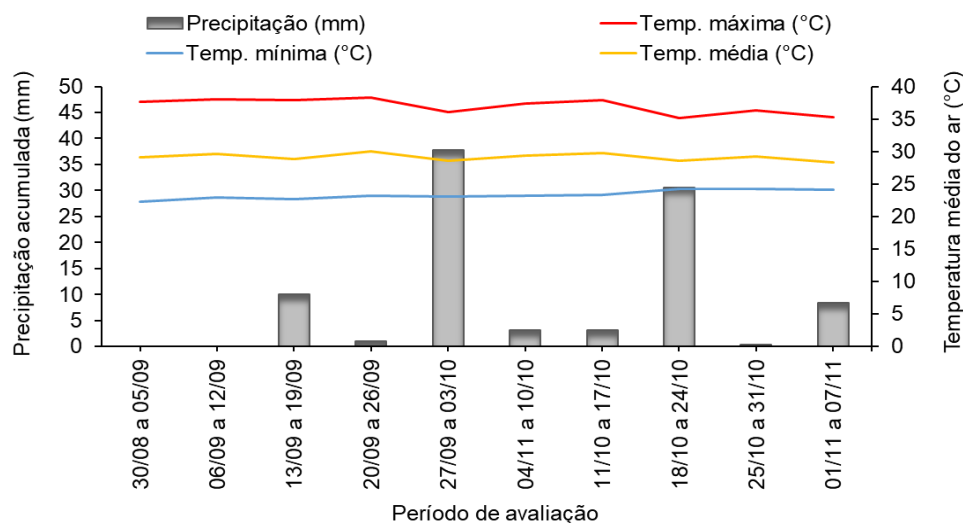
O presente estudo tem como objetivo, portanto, avaliar o efeito de fontes e doses de Si sobre a produtividade e a resistência de plantas de milho verde BRS 3046 à lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) nas condições do município de Teresina, PI.

2. Metodologia

Os experimentos foram conduzidos no período de agosto a novembro de 2021, em uma área localizada no Colégio Técnico de Teresina (CTT) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), município de Teresina - PI (05°05' 2" S; 42°48'42" O e 72 m de altitude). O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Aw' (tropical subúmido quente) com duas estações definidas, seca, de junho a novembro e chuvosa, de dezembro a maio (Andrade Júnior et al., 2004). As chuvas se concentram nos meses de janeiro a abril, com precipitação média anual de 1.393,2 mm, temperatura média anual do ar de 27,1 °C e umidade relativa média anual do ar de 70% (INMET, 2009). Durante o estudo, foram registradas por meio de uma estação meteorológica automática, temperaturas médias semanais em torno de 29,1 °C (mínima de 23,3 °C e máxima de 37,0 °C) e

precipitação acumulada de 94,5 mm (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação acumulada e temperatura média semanal correspondente ao período de agosto a novembro de 2021.



Fonte: Autores.

O solo da área, classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico (EMBRAPA, 2013), de textura arenosa e relevo suave ondulado apresenta as seguintes características (Tabela 1):

Tabela 1 - Características químicas do solo da área do CTT/UFPI. Teresina - PI, 2021

Prof. (cm)	Análise química									
	pH	MO	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	V
	H ₂ O	%	mg dm ⁻³	-----			Cmolc dm ⁻³ -----	-----		
0-20	6,4	1,7	17,0	1,3	0,6	0,05	1,0	1,95	2,95	66,10

Fonte: Laboratório de Análise de Solo UNITHAL – Tecnologia Com. Prod. Agrop. Ltda. MO: Matéria orgânica.

Para avaliar o efeito dos tratamentos, foram conduzidos, paralelamente, dois experimentos, um com diferentes doses de Silicato de Potássio (12% de Si) e um outro com diferentes doses de Ácido Silícico (42% de Si). Na condução dos experimentos, adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com os tratamentos distribuídos em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições. Cada unidade experimental, com dimensões de 2,40 m de largura e 4,00 m de comprimento (9,6 m²), foi constituída por 4 fileiras de plantas com 3 plantas por metro linear, espaçadas 0,60 m entre linhas. Os dados utilizados foram obtidos das duas fileiras centrais do milho, eliminando-se 1,0 m nas extremidades de cada fileira e as bordaduras, perfazendo uma área útil de 4,8 m² por parcela.

Nas parcelas do experimento I foram avaliadas cinco doses de Silicato de Potássio, 0,0, 1,0, 2,0, 4,0 e 6,0 L ha⁻¹ de K₂SiO₃ e nas parcelas do experimento II, cinco diferentes doses de Ácido Silícico, 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2 kg ha⁻¹. Como subparcela foi considerado, em ambos os experimentos, os quatro períodos de avaliação: 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE) das plantas de milho.

Na avaliação foi utilizado o híbrido triplo BRS 3046, conhecido popularmente como saboroso e recomendado para produção de milho verde no Nordeste, em períodos de safras e safrinhas, sem restrições de altitude, podendo ser utilizado também para produção de grãos e silagem. É um híbrido de ciclo superprecoce, com florescimento em torno de 60,5 dias, grãos dentados, espigas grandes, comprimento médio de 18 cm, bem empalhadas, e dependendo das condições climáticas, com uma janela de colheita por volta de cinco dias (EMBRAPA, 2018).

O sistema de preparo de solo adotado foi o de plantio direto, fazendo-se a semeadura manual sobre a palhada de *Crotalaria juncea*, previamente dessecada com o uso de herbicida Glifosato ($720 \text{ g i.a. L}^{-1}$), na dosagem equivalente a $2,67 \text{ kg ha}^{-1}$ do i.a. (sal de di-amônio de glifosato). Na semeadura foram colocadas duas sementes de milho por cova, sendo o desbaste realizado 15 DAE, quando as plantas apresentavam de duas a três folhas totalmente expandidas, deixando-se uma planta por cova.

Por ocasião do plantio foi realizada, em toda a área, uma adubação manual com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), de acordo com o resultado da análise do solo e a necessidade da cultura (Aquino et al., 1993), aplicando-se 20 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 30 kg ha^{-1} de K_2O . As fontes utilizadas foram, ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (58% de K_2O). Em cobertura foram realizadas duas adubações manuais, a primeira com 35 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O , utilizando ureia e cloreto de potássio, respectivamente, quando a plantas de milho apresentavam de 4 a 5 folhas definitivas, e a segunda, com 35 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia, quando as plantas apresentavam de 8 a 10 folhas completamente desenvolvidas.

As aplicações com as fontes e doses de silício supracitadas foram realizadas em cobertura aos 15, 30 e 45 dias após a emergência, quando as plantas atingiram o estágio fisiológico, respectivamente, V3 (três folhas totalmente expandidas), V6 (seis folhas totalmente expandidas) e V9 (nove folhas totalmente expandidas). O silicato de potássio foi aplicado via adubação foliar e o ácido silício, foi diluído em água e aplicado via solo, no colo das plantas. Para aplicação de ambas as fontes de silício e suas respectivas dosagens, utilizou-se um pulverizador pressurizado com CO_2 , e volume de calda equivalente a 200 L ha^{-1} .

No cultivo foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão convencional, com tubulação de distribuição contendo um aspersor para cada quatro (4) parcelas. As plantas foram irrigadas diariamente, de acordo com a necessidade hídrica da cultura e as condições climáticas da região. A água utilizada para irrigação é classificada como C_2S_1 (Água de moderada salinidade e baixo risco a sodicidade).

A cultura foi mantida livre de plantas daninhas, por meio de duas capinas manuais, a primeira logo após o desbaste das plantas e a segunda, 15 dias após a primeira capina, não sendo utilizados inseticidas ou fungicidas nos experimentos.

A colheita foi realizada de forma manual, aos 70 dias após o plantio, quando cerca de 50% das espigas da área útil atingiram o estágio de grão leitoso (R3), com cerca de 70 a 80% de umidade.

A incidência da lagarta-do-cartucho (IL) e os respectivos níveis de danos foliares (NDF) provocados por esta nas plantas de milho foram avaliados quinzenalmente, aos 15, 30, 45 e 60 DAE das plantas, examinando-se a 3ª folha a partir da última lançada, por meio de uma escala de notas que varia de acordo com o nível de ataque, utilizando-se uma escala visual de injúrias proposta por Davis e Williams (1989) (Tabela 2), sendo a nota de injúria obtida da média das notas atribuídas por dois avaliadores.

Tabela 2 - Escala visual de injúrias para atribuição de notas de danos causados pela *Spodoptera frugiperda* em plantas de milho.

Notas	Descrição dos danos
0	Sem danos visíveis.
1	Pequenas pontuações (tipo alfinete ou raspagem) em poucas folhas.
2	Pequenos danos em forma de furos em poucas folhas.
3	Danos em forma de furos em várias folhas.
4	Danos em forma de furos em várias folhas e lesões em poucas folhas.
5	Lesões em várias folhas.
6	Grandes lesões em várias folhas.
7	Grandes lesões em várias folhas e porções comidas em poucas folhas.
8	Grandes lesões e grandes porções comidas em várias folhas.
9	Grandes lesões e grandes porções comidas na maioria das folhas.

Fonte: Davis e Williams (1989)

A primeira avaliação foi realizada no dia da primeira aplicação dos tratamentos, ou seja, aos 15 DAE das plantas, a segunda 15 dias após a primeira aplicação de silício e a terceira e quarta avaliação, após 15 dias da segunda e da última aplicação de silício, respectivamente. Foram contados ainda, o número total de plantas na área útil de cada parcela e o número de plantas danificadas (NPD), para determinação da porcentagem de plantas danificadas (PPA), e o número de lagartas encontradas nas plantas de milho.

Nas mesmas fileiras usadas para avaliar o nível de dano, também foram avaliados os parâmetros vegetativos indicadores do desenvolvimento da planta de milho: altura da planta (AP), medindo-se o comprimento das plantas, do nível do solo até a extremidade da última folha lançada, com o auxílio de uma fita métrica e o número total de folhas vivas por planta (NFV). Após a colheita foi avaliado a produtividade do milho verde (PROD, Mg ha⁻¹) por meio do peso médio das espigas empalhadas (PME) produzidas em cada parcela, extrapolando-se o resultado para produtividade por tratamento e o número de lagartas-do-cartucho encontradas nas espigas colhidas (NLE) do milho BRS 3046.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias, quando significativas, ajustadas a modelos de regressão, de acordo com os critérios de significância do modelo ($p \leq 0,05$), e da estimativa do coeficiente de determinação. Apenas os modelos e as equações com os melhores ajustes são mostradas.

Os dados referentes à porcentagem de plantas danificadas foram transformados em arco-seno ($x/100$) e os dados de contagem, em $\sqrt{(x + 1)}$ antes da análise, para atender as pressuposições de normalidade. As análises foram realizadas por meio do programa SAS, versão 9.0.

3. Resultados e Discussão

3.1 Incidência e nível de dano da lagarta-do-cartucho em plantas de milho

No experimento I, ao avaliar o efeito da aplicação de silicato de potássio via foliar sobre a incidência da lagarta-do-cartucho na cultura do milho, verifica-se que não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores doses de silicato de potássio e período de avaliação, aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE) das plantas (Tabela 3). Também não foi observado efeito isolado ($p > 0,05$) das doses de silicato de potássio sobre o número de plantas danificadas (NPD), porcentagem de plantas danificadas (PPD) e nível de danos foliares (NDF) por *Spodoptera frugiperda*. Entretanto, observa-se efeito isolado ($p < 0,05$) do fator período de avaliação para NPD, PPD e NDF (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios, teste F e coeficiente de variação para número de plantas danificadas (NPD), porcentagem de plantas danificadas (PPD) e nível de danos foliares (NDF) causado por *Spodoptera frugiperda*, em plantas de milho, BRS 3046, adubadas com silicato de potássio aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE).

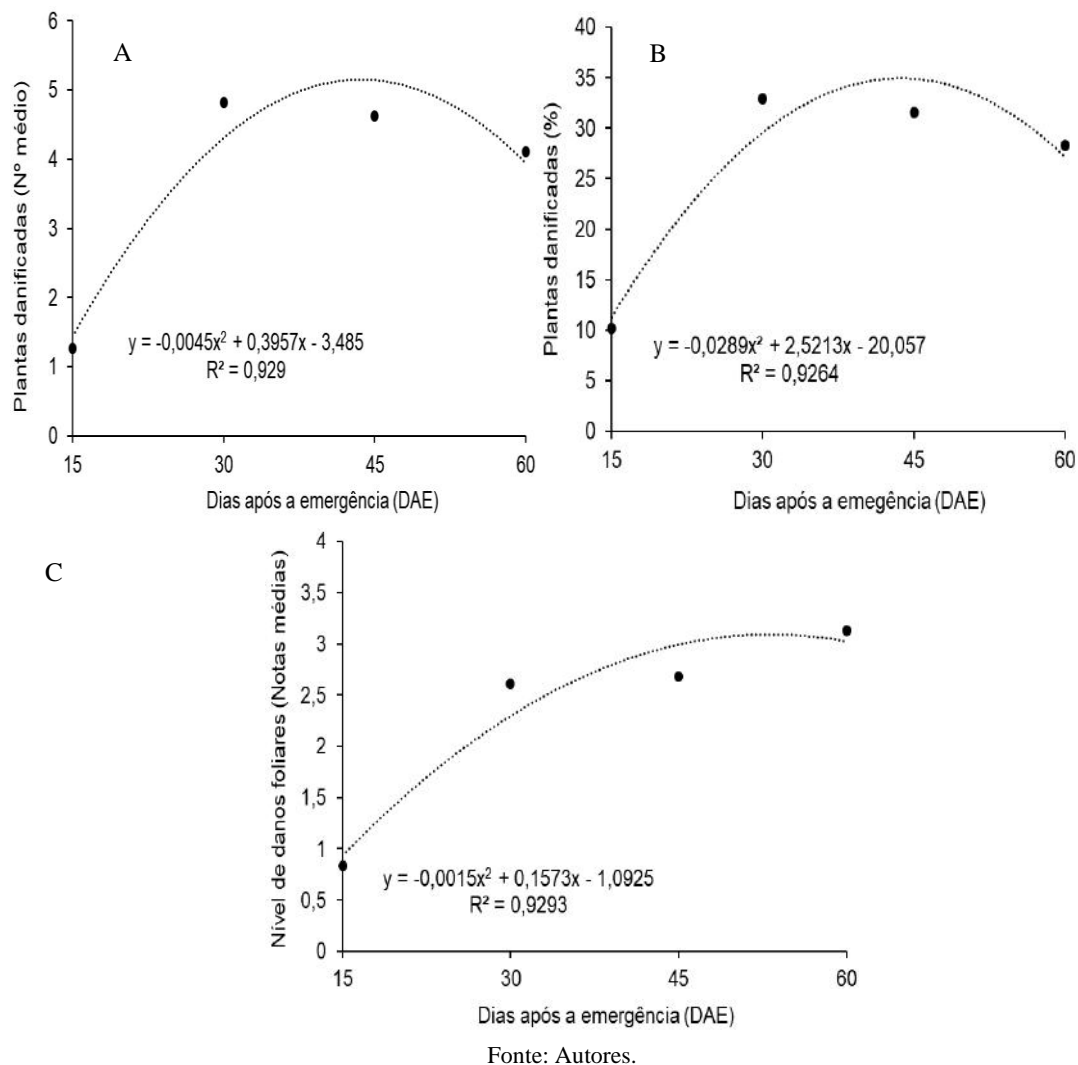
Doses de silicato de potássio – DSP (L ha ⁻¹)	NPD Nº médio	PPD -- % --	NDF Nota média
0,0	4,31	29,77	2,48
1,0	3,64	26,71	1,99
2,0	3,52	26,54	2,29
4,0	3,63	25,70	2,43
6,0	2,78	20,32	2,04
Teste F	ns	ns	ns
DAE – (Dias)			
15 (V3)	1,26 b	10,15 b	0,83 b
30 (V6)	4,82 a	32,90 a	2,61 a
45 (V9)	4,63 a	31,55 a	2,68 a
60 (R1)	4,11 a	28,29 a	3,13 a
Teste F	**	**	**
DSP x DAE			
	ns	ns	ns
CV ₁ (%)	37,44	49,72	21,65
CV ₂ (%)	32,42	49,55	17,78

CV₁ – coeficiente de variação da parcela; CV₂ – coeficiente de variação da subparcela. ns e **, respectivamente, não significativo e significativo a 1% de probabilidade. ¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Os resultados obtidos nesse trabalho com a aplicação de doses de silicato de potássio, iguais a 0,0; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 L ha⁻¹ (Tabela 3), diferem em parte dos resultados obtidos por Ferreira et al. (2022), que constataram em estudo semelhante, que a aplicação de silicato de potássio até a dosagem de 4 L ha⁻¹ tende a reduzir a quantidade de *S. frugiperda* em espigas de milho verde, BRS 3046, no entanto, não influencia a produtividade das plantas. Este resultado corrobora também com os obtidos por Malfato e Mourão (2014), que ao avaliarem o efeito do uso de silicato de potássio, via aplicação foliar, sobre a produtividade e a tolerância do milho ao ataque dessa praga, não observaram diferença significativa entre as doses para a incidência de lagartas ao aplicar silicato de potássio na dosagem de até 1,5 L ha⁻¹.

Com relação ao período de avaliação, observa-se que, os valores médios de NPD, PPD e NDF aumentaram com o ciclo da cultura, independente das doses de silicato de potássio aplicadas via foliar, e que os valores obtidos para todos os parâmetros avaliados os quais possuem médias significativas ($p < 0,05$), se ajustaram ao modelo de regressão polinomial de segundo grau ($Y = ax^2 + bx + c$), com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), variando de $R^2 = 0,929$ para o número de plantas danificadas e $R^2 = 0,9264$ para percentual de plantas danificadas (Figura 2 A, B e C). Observa-se ainda que os valores médios e porcentagem de plantas danificadas, respectivamente, foram iguais a 4,82 e 32,90% aos 30 DAE (Figura 2 A e B). Já para o nível de danos foliares o coeficiente de determinação foi $R^2 = 0,9293$, e a menor nota média obtida de 0,83, referente às injúrias visualmente identificadas nas folhas de milho, ocorreu aos 15 DAE das plantas (Figura 2 C).

Figura 2 - Número de plantas danificadas (NPD) (A), porcentagem de plantas danificadas (PPD) (B) e nível de dano foliar (NDF) (C) causado por *Spodoptera frugiperda* em plantas de milho, BRS 3046, adubadas com diferentes doses de silicato de potássio.



Com a aplicação de ácido silício, via solo, avaliado no experimento II, verifica-se que também não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores, doses e período de avaliação (DAE) das plantas (Tabela 4) e nem efeito isolado ($p > 0,05$) das doses de ácido silício sobre o NPD, PPD e NDF por *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho BRS 3046. No entanto, verifica-se efeito isolado ($p < 0,05$) do fator período de avaliação para NPD e PPD (Tabela 4).

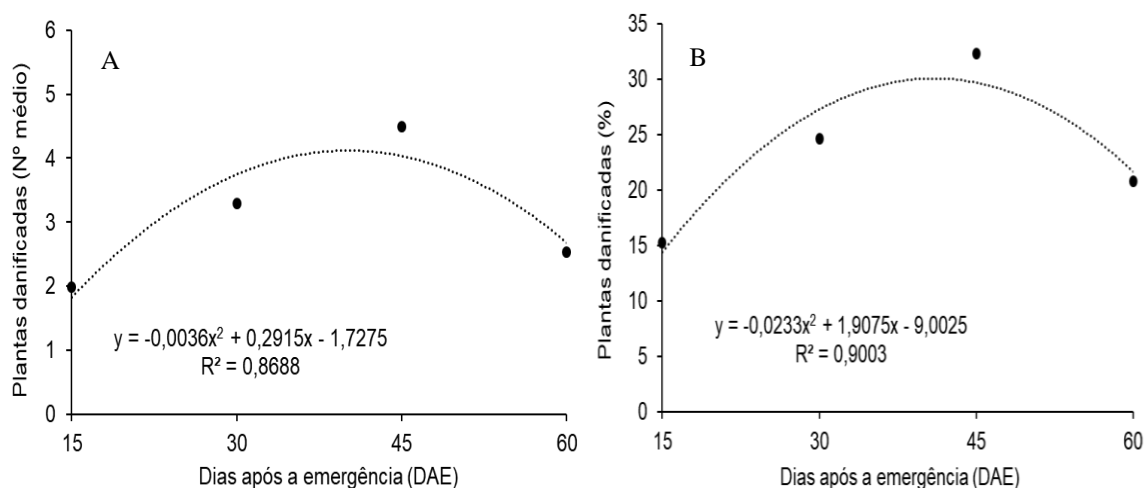
Tabela 4 - Valores médios, teste F e coeficiente de variação para número de plantas danificadas (NPD), porcentagem de plantas danificadas (PPD) e nível de danos foliares (NDF) causado por *Spodoptera frugiperda*, em plantas de milho, BRS 3046, adubadas com ácido silício aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE).

Doses de ácido silício – DAS	NPD	PPD	NDF
(kg ha ⁻¹)	Nº médio	-- % --	Nota média
0,0	3,36	24,77	2,24
0,5	3,56	26,24	2,49
1,0	1,98	15,27	1,40
1,5	3,06	25,20	2,24
2,0	3,23	24,93	2,57
Teste F	ns	ns	ns
DAE – (Dias)			
15 (V3)	1,98 b	15,25 b	1,74 a
30 (V6)	3,29 ab	24,64 ab	1,93 a
45 (V9)	4,49 a	32,33 a	2,81 a
60 (R1)	2,53 b	20,77 b	2,27 a
Teste F	**	**	ns
DAS x DAE			
	ns	ns	ns
CV ₁ (%)	33,34	56,69	26,82
CV ₂ (%)	25,04	65,77	21,00

CV₁ – coeficiente de variação da parcela; CV₂ – coeficiente de variação da subparcela. ns e **, respectivamente, não significativo e significativo a 1% de probabilidade. ¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Na avaliação da adubação com o ácido silício, os resultados foram semelhantes aos obtidos com o silicato de potássio, exceto para a variável NDF que não diferiu entre os DAE (Figura 3 A e B). Já os valores médios de NPD e de PPD aumentaram com o período de avaliação, independente das doses de ácido silício aplicadas. Além disso, verifica-se que os valores obtidos para ambos os parâmetros que possuem médias significativas ($p < 0,05$), também se ajustam ao modelo de regressão polinomial de segundo grau ($Y = ax^2 + bx + c$), com os valores de $R^2 = 0,8688$ para NPD e $R^2 = 0,9003$ para PPD, sendo a obtenção das maiores médias de 4,49 e 32,33%, respectivamente, para o número médio e porcentagem de plantas danificadas aos 45 DAE do milho BRS 3046 (Figura 3 A e B).

Figura 3 - Número de plantas danificadas (NPD)(A) e porcentagem de plantas danificadas (PPD)(B) por *Spodoptera frugiperda*, de milho, BRS 3046, adubadas com diferentes doses de ácido silício.



Fonte: Autores.

Betioli Junior et al. (2013) também obtiveram resultados similares aos dos experimentos em questão. Esses autores, ao avaliarem o efeito do silício na indução de resistência do milho a lagarta do cartucho, constataram que a aplicação de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio por ocasião do plantio e de SupaPotássio (20% de Si) via foliar aos 8 e 17 DAE das plantas, não resultaram em diferentes níveis de danos provocados pela lagarta-do-cartucho aos 9, 15, 22 e 30 dias após a emergência do milho. Entretanto, tais resultados diferem dos obtidos por Perdomo (2017), que ao avaliar o efeito de doses de silício na produtividade e na indução de resistência de plantas de milho a *S. frugiperda*, constatou que a aplicação de silício em fundação nas doses a partir de 450 kg ha⁻¹ reduziu a desfolha causada pelas lagartas em plantas de milho cultivadas em condição de campo. Albuquerque et al. (2010), também observaram uma redução do ataque da lagarta-do-cartucho, aos cinco dias após a aplicação dos tratamentos, e que a fonte Agrosilício (10,5% de Si) aplicada por ocasião de plantio, nas doses de 500 a 1000 kg ha⁻¹, promoveram indução de resistência ao ataque *S. frugiperda*, em plantas de milho.

Essas divergências nos resultados obtidos no presente estudo, podem estar relacionadas às diferenças entre as doses de Si utilizadas nos trabalhos citados pela literatura, as quais em sua grande maioria, foram superiores as doses utilizadas em ambos os experimentos em questão.

3.2 Crescimento de plantas, produção e número de lagartas em milho verde

Para os parâmetros relacionadas ao crescimento de plantas e produção de milho verde, altura de planta (AP), número de folhas vivas (NFV), peso médio de espigas (PME), produtividade (PROD) e número de lagartas encontradas nas espigas colhidas (NLE), não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as doses de silicato de potássio (Tabela 5), e nem entre as doses de ácido silício (Tabela 6). Tal resultado se deve, possivelmente, a dificuldade de se avaliar o efeito do silício em condição de campo, uma vez que inúmeros fatores, como tipo de solo, quantidade de Si aplicada, a disponibilidade desse elemento no solo e sua consequente absorção, podem interferir na sua atuação sobre as características das plantas.

Tabela 5 - Valores médios, teste F e coeficiente de variação para altura de plantas (AP), número de folhas vivas (NFV), peso médio de espigas (PME), produtividade (PROD) e número de lagartas nas espigas (NLE) de milho, BRS 3046, adubadas com silicato de potássio.

Doses de silicato de potássio – DSP (L ha ⁻¹)	AP -- cm --	NFV nº médio	PME -- g --	PROD Mg ha ⁻¹	NLE nº médio
0,0	121,75	9,07	172,05	8,71	8,94
1,0	128,25	9,63	242,50	12,11	7,37
2,0	129,75	10,43	215,75	9,57	7,50
4,0	124,25	9,42	214,43	9,82	7,31
6,0	125,00	9,76	220,48	9,72	3,87
Teste F	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7,08	18,13	20,63	28,01	17,89

CV - coeficiente de variação e ns - não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Tabela 6 - Valores médios, teste F e coeficiente de variação para altura de plantas (AP), número de folhas vivas (NFV), peso médio de espigas (PME), produtividade (PROD) e número de lagartas nas espigas (NLE) de milho, BRS 3046, adubadas com ácido silício.

Doses de ácido silício – DAS (kg ha ⁻¹)	AP -- cm --	NFV nº médio	PME -- g --	PROD Mg ha ⁻¹	NLE nº médio
0,0	123,25	9,70	198,52	9,74	1,49
0,5	127,75	10,11	207,72	8,52	2,24
1,0	123,00	8,55	187,12	9,90	4,25
1,5	127,50	9,18	202,84	9,80	3,21
2,0	132,50	10,07	205,99	10,18	3,34
Teste F	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8,52	14,62	19,71	33,82	38,12

CV - coeficiente de variação e ns - não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

O fato das diferentes doses de silicato de potássio (0,0; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 L ha⁻¹) e de ácido silício (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kg ha⁻¹) não exercerem influência significativa sobre os parâmetros vegetativos indicadores de desenvolvimento (altura de plantas e número de folhas vivas) e os parâmetros reprodutivos, indicadores de produção (peso médio de espigas e produtividade), bem como, o número de lagartas encontradas nas espigas de milho, em ambos os ensaios, pode estar relacionado as doses de silicato de potássio e ácido silício aplicados sobre as plantas, com as doses abaixo do valor crítico para atender a necessidade da cultura, ou insuficiente para que os benefícios do Si sobre as plantas possam ser expressos em termos de crescimento, produção e/ou resistência a incidência da lagarta-do-cartucho (Tabelas 5 e 6).

Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Cruz et al. (2022), que ao estudarem o efeito da adubação foliar como ácido silício sobre as características agrônomicas e produtividade do milho, verificaram que aplicação de ácido silício não resulta em diferença significativa ($p > 0,05$) entre as doses testadas para nenhum dos parâmetros relacionados aos componentes de produção do milho, BRS 3046, ou seja, altura de plantas (AP), comprimento (COMP), diâmetro (DIAM), peso médio de espigas (PME), produtividade (PROD) e porcentagem de espigas verdes comerciais (EVC, %). Esses autores reforçam que provavelmente, as doses de ácido silício, assim como as doses de silicato de potássio utilizadas no experimento estejam abaixo do valor crítico recomendado para atender a necessidade do milho, além da interferência do fator ambiente. Ferreira et al. (2022) demonstram que à aplicação de silicato de potássio (K₂SiO₃), via solo e foliar, não influencia o peso médio de espigas e a produtividade de plantas de milho verde BRS 3046. Cruz et al. (2022) verificaram que aplicação de silicato de potássio modifica o diâmetro da espiga verde empalhada, BRS 3046. Miranda et al. (2018), avaliando a influência da aplicação de silício na cultura do milho, via foliar e solo também verificaram que, tanto a aplicação de Si via solo na dose de 2646 kg ha⁻¹ ou 6,0 kg ha⁻¹ via foliar de AgroSilício (7,3% de Si) e via foliar de 0,4 L ha⁻¹ de SiK (10% de Si), influenciaram positivamente no diâmetro do colmo e na altura das plantas de milho nas fases iniciais de desenvolvimento. Dessa forma, estudos com diferentes fontes e métodos de aplicação de Si revelam efeitos controversos com esse elemento.

Com relação ao número de lagartas-do-cartucho nas espigas de milho (NLE) de ambos os experimentos, observa-se que, numericamente, houve uma redução do número médio de lagartas encontradas nas espigas, com o aumento das doses de silício (Tabelas 5 e 6). No entanto, as diferenças entre as médias destas não foram significativas. Ferreira et al. (2022) verificaram que o número de lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) por espiga diminuem com o aumento das doses de silicato de potássio (K₂SiO₃), tanto via foliar como aplicado no solo, reforçando a ação benéfica do K₂SiO₃ sobre a incidência de lagartas em espigas de milho verde BRS 3046.

Com relação ao peso médio de espigas e produtividade do milho em ambos os experimentos (Tabelas 5 e 6), os valores médios variam em torno de 223 g e 10,3 Mg ha⁻¹, no experimento I e 201 g e 9,85 Mg ha⁻¹ no experimento II, respectivamente,

estando próximos do potencial máximo produtivo do híbrido utilizado (BRS 3046), o qual pode produzir de 30 a 40 mil espigas, com peso médio de 291 g, alcançando uma produtividade de 8,7 a 11,6 Mg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2017, 2018).

De forma geral, as informações sobre a eficiência da adubação silicatada como indutor de resistência do milho a lagarta-do-cartucho, bem como a influência desta sobre o crescimento e produção de milho verde ainda são contraditórias, tornando evidente a necessidade de realizar-se estudos mais aprofundados sobre esse tema, especialmente com relação a quantidade ideal a ser aplicada desse elemento nas plantas, para obtenção de resultados mais precisos, conforme demonstrado em parte por Cruz et al. (2022).

4. Conclusão

Nas condições de execução do presente estudo, conclui-se que as fontes de silício na forma de silicato de potássio e de ácido silício não atenuam danos provocados pela *Spodoptera frugiperda*, bem como não aumentam a produtividade de milho verde do tipo BRS 3046.

Pode-se considerar que com aplicação do silicato de potássio, a porcentagem de plantas danificadas pela *S. frugiperda* ocorre mais cedo do que com a aplicação do ácido silício.

Agradecimentos

A Empresa Diatom Mineração Ltda, pela doação do silicato de potássio e ácido silício.

Referências

- Albuquerque, F. A., Scapim, C. A., Lima, R. S., Edner Junior, B., & Crubelati, N. C. S. (2010). Efeito da aplicação de silicatos via solo e via foliar no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* em Milho. In: Congresso Nacional de Milho E Sorgo, 28., 2010, Goiânia. Anais [...]. Goiânia: ABMS, p. 123-127.
- Andrade Júnior, A. S., Bastos, E. A., Cardoso, M. J., & Silveira Júnior, D. M. (2004). Zoneamento de risco climático para a cultura do milho no Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 12, 369-377.
- Aquino, A. B., Aquino, B. F., Hernandez, F. F. F., Holanda, F. J. M., Freire, J. M., Crisóstomo, L. A., Costa, R. I., Uchôa, S. C. P., & Fernandes, V. L. B. (1993). Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza: UFC. 248 p.
- Betioli Junior, E., Albuquerque, F. A., Barbosa, A. M., Crubelati, N. C. S., & Lima, R. S. (2013). Efeito do silício na indução deresistência do milho ze mays l. A lagarta-do-cartucho *spodoptera frugiperda*. In: Encontro Internacional de Produção Científica, 8., Maringá. Anais [...]. Maringá, PR: CESUMAR, 2013.
- Caldarelli, C. E., & Bacchi, M. R. P. (2012). Fatores de influência no preço do milho no Brasil. *Nova Economia*, 22.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. (2021). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2021/22 - Terceiro levantamento. Brasília: Conab. 9, 1-100.
- Cruz, J. C., Magalhães, P. C., Pereira, I. A., & Queiroz, L. R. (2013). Milho: cultivares para 2013/2014. *Embrapa Milho e Sorgo*, 2013.
- Cruz, A. L. F., Soares, A.N., Campos, L. O., Gomes e Silva, D., Ferreira, J.C., Gonçalves, F.C.M., & Arruda, F. P. (2022). Fontes e doses de silício modificam parâmetros produtivos de milho BRS 3046. In: Fernanda Chaves Aloisio. (Org.) Coletânea Internacional de Pesquisa em Ciências Agrárias e Biológicas. 02 ed. São José dos Pinhais: Seven Events, 1, 57-72. <<https://www.sevenevents.com.br/coletanea-agrarias1>>.
- Davis, F. M., & Williams, W. P. (1989). Methods used to screen maize for and to determine machanisms of resistance to the southwestern corn borer and fall armyworm. In: International Symposium On Methodologies for Developing Host Plant Resistance to Maize Insect, México. Proceedings... México., p. 101-108.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2018). Híbrido BRS 3046 amplia mercado do milho verde. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31597511/hibrido-brs-3046-amplia-mercado-do-milho-verde>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2017). Milho verde BRS 3046: produtividade e qualidade. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1069908/milho-verde-brs-3046-produtividade-e-qualidade>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed., Ver. e Ampl. Brasília, DF: Embrapa., 353 p.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 91, 11-17.
- Etesami, H., & Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 881-896.

- Ferreira, J. C., Mendes, E. R. F., Silva, D. G. E., Sousa, T. S., Gonçalves, F. C. M., & Arruda, F. P. (2022). Silicato de potássio como fonte de nutriente e resistência do milho (*Zea mays* L.) a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda*. *Brazilian Journal of Development*, 8, 42979-42994.
- FIESP. Safra mundial de milho. Portal Fiesp, 2019.
- Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. (2009). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530 p. <http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf>.
- Ma, J. F.; & Yamaji, N. (2008). Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65, 3049- 3057.
- Malfato, R. A., & Mourão, A. P. M. (2014). Influência da adubação com silicato de potássio nos danos causados por *Spodoptera frugiperda* e na produtividade da cultura do milho. In: Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 12., 2014, ambiente virtual. Anais [...]. Ambiente virtual: FAG e Dom Bosco, p. 1-8.
- Miranda, R. A (2018). Uma história de sucesso da civilização. *A Granja*, 74, 24-27.
- Miranda, P. S., Moraes, T. R., Santos, J. R. E., Carvalho, F. D., Viana, J. P., & Pérez-Maluf, R. (2018). Aplicação de silício na cultura do milho. *Revista de Ciências Agroambientais*, 16, 1-6.
- Nascimento, F. N., Bastos, E. A., Cardoso, M. J., Andrade Júnior, A. S., & Ramos, H. M. (2017). Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 16, 94-108.
- Nogueira, A. M., Jesus, K. A., Lins junior, J. C., & Bezerra, C. E. S. (2018). Efeito do silício no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (*Lepidoptera: Noctuidae*) na cultura do arroz. *Connection Line-Revista eletrônica do univag*, 19, 52-62.
- Palma, N. L., Ivan, E. A. F., Oliva, M. B., Damasceno, R. T., Santos, F. G., Sanitá, D. A., Silva, T. L., & Pinto, A. S. (2012). Confiabilidade de Escalas de Notas de Danos em Folhas Causados por *Spodoptera frugiperda* na Cultura do Milho de Segunda Safra. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29., 2012, Águas de Lindóia. Resumos expandidos [...]. Campinas: Instituto Agrônomo; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 960-966.
- Perdomo, D. N. (2017). Doses de silício na produtividade e na indução de resistência de plantas de milho a *Spodoptera frugiperda* (SMITH) (*Lepidoptera: Noctuidae*). 2017. 51 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia.
- Reis, T. H. P., Guimarães, P. T. G., Figueiredo, F. C., Pozza, A. A. A., Nogueira, F. D., & Rodrigues, C. R. (2007). O silício na nutrição e defesa de plantas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007.
- Souri, Z., Khanna, K., Karimi, N., & Ahmad, P. (2021). Silicon and plants: current knowledge and future prospects. *Journal Plant Growth Regulation*, 40, 906–925.
- Souza, J. P. F., Martins, G. L. M., Pereira, A. C., Binotti, F. F. S., & Maruyama, W. I. (2015). Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. *Revista de Agricultura Neotropical*, 2, 13-17.
- Waquil, J. M., & Vilella, F. M. F. (2003). Gene bom. *Revista Cultivar*, 49, 22-26.
- Yaghubi, K., Vafaei, Y., Ghaderi, N., & Javadi, T. (2019). Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50, 1439-1451.