

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

LEONARDO LUCAS FERNANDES NERI

EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO
SOBRE O SILÍCIO DISPONÍVEL NO SOLO E ABSORVIDO PELA PLANTA

Uberlândia

2024

LEONARDO LUCAS FERNANDES NERI

EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO
SOBRE O SILÍCIO DISPONÍVEL NO SOLO E ABSORVIDO PELA PLANTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Entomologia

Orientador: Marcus Vinicius Sampaio

Uberlândia

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

N445 2024	Neri, Leonardo Lucas Fernandes, 1995- EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO SOBRE O SILÍCIO DISPONÍVEL NO SOLO E ABSORVIDO PELA PLANTA [recurso eletrônico] / Leonardo Lucas Fernandes Neri. - 2024. Orientador: Marcus Vinícius Sampaio. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. 1. Agronomia. I. Sampaio, Marcus Vinícius, 1971-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Agronomia. III. Título. CDU: 631
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

LEONARDO LUCAS FERNANDES NERI

EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO
SOBRE O SILÍCIO DISPONÍVEL NO SOLO E ABSORVIDO PELA PLANTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Entomologia

Uberlândia, 02 de maio de 2024.

Banca Examinadora:

Marcus Vinícius Sampaio - Professor (UFU)

Ricardo Ferreira Domingues - Doutorando (UFU)

Marcela Silva Barbosa - Doutoranda (UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelo discernimento e sabedoria.

Agradeço aos meus pais Lucia Helena Fernandes Oliveira Neri e José Hermes dos Santos Neri por todo empenho e apoio, em especial a minha mãe, exemplo de vida, mulher guerreira e de coração doce por todo o sacrifício da sua vida em prol da família.

Agradeço a minha amiga, namorada e futura esposa Maria Luiza Ferreira Caetano, que esteve comigo desde o início da jornada acadêmica, por todo o incentivo, companheirismo e ensinamentos, sendo o meu alicerce durante a minha caminhada acadêmica e pessoal.

Agradeço ao meu professor e orientador Marcus Vinicius Sampaio pelo o incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica. Ao colega Moraes, pela ajuda e contribuição no experimento.

Além disso, agradeço também a Universidade Federal de Uberlândia e ao reitor da faculdade por disponibilizar a estrutura e todos os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O milho (*Zea mays*) é uma gramínea com grande relevância na agricultura mundial devido a vasta utilidade que possui. Alguns fatores podem afetar a produtividade do milho, como a incidência de pragas, doenças e manejo da fertilidade. O silício (Si) pode agregar benefícios à diversas culturas, incluindo o milho, como resistência ao ataque de pragas e doenças, superação de estresses abióticos e aumento de produtividade, desde que seja encontrado em níveis elevados, acima de $10 \text{ mg}^{-1}.\text{kg}$ de solo. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito residual de doses de silicato de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos teores de Si disponível no solo e foliar e na produtividade do milho. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho Eutrófico, de textura argilosa, na Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando o delineamento de blocos casualizados, com cinco tratamentos (0, 400, 600, 800 e $1000 \text{ Kg de Si solúvel ha}^{-1}$) e cinco repetições. O silicato de Ca e Mg foi incorporado ao solo e realizadas, antes do experimento, uma safra de trigo, uma de milho e uma de trigo em sucessão no mesmo local. Para o experimento, a semeadura do milho (híbrido 30F35VY HR) foi realizada 557 dias após a aplicação do silicato de Ca e Mg, em quatro linhas de cinco metros por repetição, formando uma população de 60 plantas por parcela. Avaliou-se o teor de Si no solo antes da semeadura do milho, o teor de Si foliar no pré-pendoamento e a produtividade do milho. Foi realizado ANAVA e as médias submetidas a análise de regressão. O teor de Si no solo aumentou de forma linear à medida que a dose de silicato aplicada foi maior, aumentando de $7,44 \text{ mg de Si por Kg de solo}$ na testemunha (sem aplicação de Si) para $11,86 \text{ mg}$ na dose de 1000 Kg de Si e com o pico de $13,30 \text{ mg}^{-1}.\text{kg}$ de solo na dose de $800 \text{ Kg de Si solúvel ha}^{-1}$. Os teores de Si foliares também aumentaram conforme o acréscimo das doses de Si, porém, ajustando-se ao modelo quadrático, indicando que as duas maiores doses (800 e $1000 \text{ Kg de Si solúvel ha}^{-1}$) proporcionaram maiores índices de Si foliar ($2,1\%$ e $2,7\%$, respectivamente) do que a testemunha ($1,62\%$) e as doses de 400 ($1,38\%$) e 600 ($1,47\%$) $\text{Kg de Si solúvel ha}^{-1}$ aplicados no solo. A produtividade do milho variou de $6,0$ a $6,7$ toneladas ha^{-1} não havendo diferença em decorrência das doses de silicato. Houve efeito residual do silicato de Ca e Mg aplicado 557 dias antes da semeadura do milho, onde doses que proporcionaram teores maiores do que $11,0 \text{ mg}^{-1}.\text{kg}$ de solo levaram à maiores concentrações de Si nas folhas do milho.

Palavras-chave: Elemento benéfico. Silício foliar. *Zea mays*.

ABSTRACT

Corn (*Zea mays*) is a grass native to Central America, with significant relevance in global agriculture due to its wide range of uses. Several factors can affect corn productivity, such as pest incidence, diseases, and fertility management. Although not considered an essential nutrient, silicon (Si) can provide benefits to various crops, including corn, such as resistance to pests and diseases, overcoming abiotic stresses, and increasing productivity. This study aimed to assess the residual effect of doses of calcium (Ca) and magnesium (Mg) silicate in soil Si levels, on foliar Si absorption and corn productivity. The experiment was conducted in a clayey Ultisol at the Capim Branco Experimental Farm of the Federal University of Uberlândia. It employed a randomized block design with five treatments (0, 400, 600, 800, and 1000 kg of soluble Si per hectare) and five replications. Calcium and magnesium silicate were incorporated into the soil, and a succession of wheat, corn, and wheat were sown at the same location before the experiment. For the corn experiment, the planting (hybrid 30F35VY HR) was carried out 557 days after the application of calcium and magnesium silicate in four rows of five meters per replicat, forming a population of 60 plants per plot. Silicon content in the soil before corn planting, foliar Si content pre-tasseling, and corn productivity were evaluated. ANOVA was performed, and the means were subjected to regression analysis. The soil Si content increased linearly as the applied silicate dose increased, rising from 7.44 mg of Si per kg of soil in the control (no Si application) to 11.86 mg at the 1000 kg Si dose, peaking at 13.30 mg of Si per kg of soil at the 800 kg soluble Si per hectare dose. Foliar Si levels also increased with higher Si doses, fitting a quadratic model. This indicated that the two highest doses (800 and 1000 kg soluble Si per hectare) resulted in higher foliar Si concentrations (2.1% and 2.7%, respectively) compared to the control (1.62%) and the doses of 400 (1.38%) and 600 (1.47%) kg soluble Si per hectare applied to the soil. Corn productivity ranged from 6.0 to 6.7 tons per hectare, with no significant differences due to silicate doses. A residual effect of calcium and magnesium silicate applied 557 days before corn planting was observed, indicating that doses leading to soil Si levels higher than 11 mg per kg resulted in higher Si concentrations in corn leaves.

Keywords: Beneficial element. Leaf silicon. *Zea mays*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Origem do milho (<i>Zea mays</i> L.)	11
2.2	Elementos nutricionais de plantas	11
2.3	Silício no sistema solo-planta	12
2.4	Efeitos benéficos proporcionados pelo silício	13
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	Instalação e condução do experimento	16
3.2	Avaliações realizadas.....	18
3.3	Análise dos dados.....	18
4	RESULTADOS	19
5	DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é uma das mais importantes na agricultura brasileira, ocupando na safra 2022/2023 uma área correspondente à 22.267,4 mil hectares e alcançado a média de produtividade de 5.922 Kg.ha⁻¹ (CONAB, 2023). O milho é um produto muito versátil sendo empregado em diferentes segmentos como a alimentação humana, alimentação animal, e produção de etanol. Originário das Américas, com um ancestral conhecido como Teosinto, o milho cultivado atualmente é resultado do melhoramento genético que elevou o potencial produtivo da cultura. Contudo, existem fatores que são limitantes à produtividade como a fertilidade do solo, ocorrência de pragas e doenças, competição com plantas infestantes, estresse hídrico, entre outros.

Nesse sentido, estudos que buscam alternativas para o manejo da fertilidade apontam a adubação silicatada como uma ferramenta sustentável, que além de induzir resistência ao ataque de pragas e doenças, pode aumentar a disponibilidade de nutrientes, ajudar na superação de estresses e consequentemente elevar a produtividade de plantas como o milho (SANTOS, 2017; GUALBERTO, 2018; REIS, 2021).

O silício (Si) não é considerado um elemento essencial, pois não configura os critérios estabelecidos por Arnon e Stout (1939), que definem a essencialidade pela incapacidade da planta completar seu ciclo na ausência do elemento, que apresenta um efeito direto na planta, participando na formação de algum composto ou reação, sem o qual a planta não vive. Assim, o Si é classificado como um elemento benéfico, pois apresenta efeito positivo no crescimento da planta, seja pela indução de resistência a pragas e doenças ou por favorecerem a absorção de nutrientes essenciais (ASHER, 1991).

Parte dos benefícios promovidos pelo silício nas plantas deve-se a sua concentração na epiderme das folhas. Cerca de 90% do Si encontrado nas plantas é armazenado na forma de sílica amorfa. A capacidade de acúmulo de Si pelas plantas é variável entre espécies. Sendo que as famílias Poaceae, Cyperaceae e Equisitacea possuem maior capacidade de acumular o elemento, podendo ter até 10% de sua matéria seca constituída por silício (SAVANT et al., 1997). Assim, plantas acumuladoras de Si podem superar teores de 10g de Si por Kg de massa seca, enquanto as espécies não acumuladoras apresentam concentrações de Si inferiores a 0,5g/Kg de massa seca, como ocorre nas dicotiledôneas (MARAFON; ENDRES, 2013).

A deposição de silício nas folhas, especialmente na parede das células que compõe a epiderme, melhora a conformação e fortalece a estrutura da planta assim promovendo maior

resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, além de reduzir a perda de água pela transpiração (RODRIGUES et al., 2011). Também são descritos como benefícios do Si, a supressão de estresses causados por elementos tóxicos como o alumínio e estresse salino, estímulo à produção de enzimas antioxidantes, aumento da capacidade fotossintética, entre outros. Deste modo, todos os efeitos positivos promovidos pelo silício podem contribuir para o aumento da produtividade. O aumento na produtividade em decorrência da adubação silicatada é relatado para culturas como o milho, cana-de-açúcar, trigo, arroz e soja (KORNDORFER et al., 2002; CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; MOREIRA et al., 2010; MENDONÇA et al., 2013; TEODORO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

Além dos diversos efeitos benéficos atestados em culturas acumuladoras e não-acumuladoras desse elemento. A adubação com Si é recomendada para atingir níveis acima de 10 mg de Si por dm^3 de solo, sendo indicada para os cultivos no Cerrado brasileiro, já que os teores de Sinesta região, frequentemente se encontram na faixa entre 6 a 8 mg de Si por dm^3 de solo (KORNDORFER et al., 2004; KORNDORFER, 2015).

Nesse sentido, o presente estudo objetivou avaliar o efeito de doses de silicato de cálcio e magnésio, aplicado via solo 557 dias antes da semeadura, nos teores de Si disponível no solo e foliar e na produtividade na cultura do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Origem do milho (*Zea mays* L.)

Popularmente conhecida como milho, a espécie *Z. mays* pertence à família das Poaceas, ordem Poales e classe Monocotyledonae. Além do milho, o gênero *Zea* é composto por diversas gramíneas de ciclo perene e anual nativas da América Central e do México (DOEBLEY, 1990).

Algumas teorias esclarecem a origem do milho, dentre elas destacam-se três. Sugerida por Weatherwax (1935) e Randolph (1955) a hipótese chamada de evolução divergente defende que uma espécie selvagem deu origem ao milho, aos teosintos e ao gênero *Tripsacum* por meio de uma evolução divergente entre eles (FORNASIERI FILHO, 2007). A segunda teoria propõe o milho como antepassado do teosinto, defendendo que o teosinto tenha sido originado a partir do milho. E por fim, a hipótese mais aceita é a de descendência do teosinto, propondo que o milho tenha sido originado do teosinto, exclusivamente, através de seleção artificial realizada pelo homem (GOODMAN, 1978; FORNASIERI FILHO, 2007).

2.2 Elementos nutricionais de plantas

As plantas absorvem diferentes elementos do solo, entre eles os essenciais, os benéficos e alguns que podem ser tóxicos. De acordo com Malavolta (1980), há dois critérios de essencialidade estabelecidos por Arnon e Stout (1939): o critério direto ao qual satisfaz como essencial o elemento que integra algum composto ou alguma reação, sem o qual a planta não sobrevive, e o critério indireto define que sem a presença do elemento a planta não completa seu desenvolvimento; o elemento não pode ser substituído e deve apresentar uma ação direta que não se baseie apenas em neutralizar efeitos desfavoráveis à planta. Assim, define-se que um elemento é essencial quando sua ausência impede que a planta complete seu ciclo, a deficiência do elemento só pode ser corrigida através de seu fornecimento, além de estar envolvido na nutrição e metabolismo da planta. A definição de essencialidade também pode ser apresentada de forma simplificada, como o critério proposto por Epstein (1975) de que é essencial o elemento que faz parte de uma molécula ou constituinte essencial à planta.

Assim, os elementos que compõe moléculas orgânicas, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), são comprovadamente essenciais, sendo estes absorvidos por meio da água pela raízes e do CO₂ pela fotossíntese. Além de C, H e O, os elementos nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são absorvidos e exigidos em altas quantidades pelas plantas, sendo conhecidos como macronutrientes (MENDES, 2007;

FAQUIN, 2005). Também essenciais porém exigidos em menores quantidades, tem-se os micronutrientes grupo composto por ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (MENDES, 2007; FAQUIN, 2005).

Ao longo dos anos houve grande evolução nas pesquisas e tecnologias relacionadas à nutrição de plantas, com isso descobriu-se outros elementos que podem ter sua essencialidade demonstrada apenas em algumas espécies, que possuem capacidade de substituir parcialmente a ação de outros elementos essenciais, ou que estimulam o desenvolvimento de plantas. Embora não sejam considerados como essenciais, estes elementos recebem a classificação de elementos benéficos. A exemplo tem-se o silício (Si), cobalto (Co), níquel (Ni), selênio (Se), sódio (Na) e alumínio (Al), elementos que apresentam efeitos positivos sob as plantas (MENDES, 2007).

2.3 Silício no sistema solo-planta

O silício é o segundo elemento mais abundante da litosfera e compõe cerca de 27% da crosta terrestre (BAKHAT et al., 2018). O Si faz parte da composição dos minerais secundários mais importantes na formação dos solos, assim integrando a maioria dos argilominerais (RESENDE et al., 2002).

Embora haja grande quantidade de silício nos solos, as formas do mineral disponíveis às plantas encontram-se escassas, especialmente em solos mais antigos, devido a avançada ação do intemperismo nos solos tropicais, sendo esta a condição dos solos na região do cerrado (GURR, 2010). Os solos brasileiros, em geral, apresentam em média 5% a 40% de silício em sua composição variando conforme o grau de intemperismo (MA et al., 2001). Solos mais velhos, como os Latossolos, apresentam menores teores de Si enquanto os solos mais novos, como os Cambissolos apresentam teores mais elevados do elemento (TISDALE et al., 1985).

O óxido de silício (SiO_2) é o mineral com maior abundância nos solos mas, devido a sua baixa solubilidade, apenas uma pequena parcela do elemento está disponível à absorção pelos vegetais (KORNDORFER, 2006). O silício prontamente disponível para as plantas é encontrado na solução do solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). A concentração de Si disponível na solução do solo é dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida, assim há uma correlação positiva entre os teores de Si e os teores de argila no material coloidal (MEYER e KEEPING, 2001). A absorção do silício ocorre na forma de ácido ortossilício ($\text{Si}(\text{OH})_4$) que ocorre quando a sílica é solubilizada com água. Devido sua baixa mobilidade, o Si é depositado e se acumula como fitólitos, na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), em estruturas intracelulares e extracelulares das plantas (SINGH et al, 2020).

Áreas de cultivos consecutivos têm seus níveis de Si reduzidos, sendo recomendado realizar a adubação. A necessidade de adubação com Si é constatada quando os teores de Si no solo, extraídos por ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, são inferiores a $20 \text{ mg de Si por dm}^3$ de solo, ou quando utilizando o extrator CaCl_2 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ os teores estiverem entre 6 a $8 \text{ mg de Si por dm}$ de solo. Destaca-se ainda, que os solos com teores próximos aos mencionados tendem a apresentar melhores repostas à aplicação de silício, já em solos com teores superiores as respostas são mais discretas (KORNDORFER, 2015). Nesse sentido, espera-se de cultivos na região do Cerrado maiores respostas à a aplicação de Si, seja via fertilizantes ou corretivos de solo (KORNDORFER et al., 2004).

As fontes de silício disponíveis para uso na adubação baseiam-se em metassilicatos e ácido silícico, os quais possuem forma de uso e efeitos similares. Além dessas, existem fontes provenientes de escórias siderúrgicas como as formas de silicato de potássio, silicato de cálcio e magnésio que além de fornecerem o Si podem ser utilizados como corretivos de solo, dado a basicidade dessas fontes (DATNOFF, 2001; PRADO e FERNANDES, 2000; CASTRO, 2009). Considerando o potencial corretivo dos silicatos, há dois fatores que limitam as doses máximas sendo um a possibilidade de elevar muito o pH e provocar desequilíbrios nutricionais, e outro fator a relação entre custo e benefício (REIS et al., 2007).

O silício pode ser encontrado em diferentes fontes podendo estar fortemente ligado ao componente mineral, de modo que sua solubilidade é menor. Nesse sentido, existem fontes de Si solúveis que apresentam maior potencial de prontamente disponibilizar o nutriente para a planta, e fontes de Si residual que liberam o nutriente de forma lenta e gradual (PEREIRA et al., 2003).

2.4 Efeitos benéficos proporcionados pelo silício

Uma vez absorvido, o silício é depositado nos tecidos vegetais onde promove a indução de defesas da planta, aumentando a resistência ao ataque de insetos e patógenos, tanto pelo aumento da produção de substâncias químicas quanto pela barreira mecânica formada pelo acúmulo do Si, na forma de sílica amorfa, na parede celular da epiderme (LIU et al., 2017; WANG et al., 2017).

Os efeitos do silício sobre os insetos praga podem ocorrer de diferentes formas, como pelo acúmulo de sílica que torna os tecidos vegetais mais duros, reduzindo a digestibilidade e desgastando o aparelho bucal dos insetos, sendo esse efeito amplamente comprovado como no estudo realizado por Goussain et al. (2002), que observou o desgaste das mandíbulas de lagartas da espécie *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) que se alimentavam de plantas de milho nutridas

com Si. Além do desgaste no aparelho bucal os autores também observaram maior mortalidade e canibalismo nas lagartas nos tratamentos com Si.

Associado ao aumento da dureza dos tecidos, o Si estimula a produção de substâncias químicas de defesa que podem alterar o comportamento biológico dos insetos-praga, provocando redução de fecundidade e aumento da mortalidade dos insetos (dos SANTOS et al., 2015; LIU et al., 2017; LUYCKX et al., 2017; WANG et al., 2017). Nesse sentido, estudos com aplicação de silicato de sódio em plantas de trigo demonstraram menor preferência e reprodução do pulgão-verde (*Schizaphis? graminum*) nas plantas que receberam o silicato, quando em comparação com o tratamento controle (MORAES et al. 2004). Outra forma de ação do Si sobre insetos relaciona o aumento da defesa da planta no terceiro nível trófico, através da atração de inimigos naturais dos insetos pragas (REYNOLDS et al. 2016). Nesse sentido, o estudo de Oliveira et al. (2020) descreveu a ação do Si induzindo mudanças nos compostos voláteis de plantas de trigo, reduzindo a atração do pulgão *Rhopalosiphum padi*, enquanto aumentava a atração do parasitoide *Lysiphlebus testaceipes*.

Com efeitos semelhantes o Si também estimula mecanismos de resistência da planta contra a ação de patógenos, atuando especialmente na resistência à penetração por fungos. A camada formada pelo acúmulo de silício, denominada dupla cultículasílica (YOSHIDA, 1965), juntamente com o acúmulo de compostos fenólicos induzidos pelo Si, são relacionados com o aumento da resistência do arroz à penetração por fungos como *Pyricularia grisea* (RODRIGUES et al., 2003)

Outros notáveis benefícios do Si são relacionados a superação ou mitigação de estresses. Como quando o Si é envolvido em processos metabólicos e fisiológicos de plantas em condição de estresse salino ou hídrico (GUNES et al., 2007). A aplicação de Si em gramíneas elevou os níveis de produção de enzimas antioxidantes, além de elevar a capacidade fotossintética e conteúdo de clorofila em plantas cultivadas com baixa umidade, demonstrando que as maiores concentrações de enzimas antioxidantes nas plantas com aplicação de Si possibilitaram a maior tolerância ao estresse hídrico (SCHMIDT et al., 1999). Avaliando plantas de arroz submetidas a redução de água disponível no solo, notou-se aumento na produção de grãos nas plantas tratadas com silicato de cálcio, observando que quanto menor foi a capacidade de campo maior foi a resposta da planta à adubação silicatada (FARIA, 2000). A resistência ao estresse hídrico também pode ser justificada pela diminuição da transpiração, associada ao acúmulo de sílica na epiderme (EPSTEIN, 1999).

Em relação ao estresse salino, o silício pode melhorar a integridade e estabilidade da membrana celular por meio dos estímulos ao sistema antioxidante. Nesse mesmo sentido, o Si

pode minimizar a toxicidade de elementos tóxicos como o alumínio (Al) através do sistema antioxidante, complexando íons metálicos e imobilizando metais ao longo do crescimento vegetal (NEUMAM e NIEDEN, 2000; LIANG et al., 2007). Outra explicação para a capacidade do Si em neutralizar o Al, é de que em pH próximo a neutralidade, silício e alumínio formam hidroxialuminossilicatos, assim diminuindo a toxidez do Al (HODSON e SANGSTER, 1988). Como descrito por Liang (2007), a capacidade do Si de complexar, imobilizar e compartimentalizar metais pesados em vácuolos ou na parede celular, possibilita mitigar estresses causados por diferentes elementos tóxicos como Fe (DUFÉY et al. 2014), cádmio (Cd) e Zn (CUNHA e NASCIMENTO, 2008), e arsênio (As) (SILVA et al., 2015).

Outros efeitos positivos da adubação silicatada são descritos como o maior número de folhas e acúmulo de matéria seca, folhas mais eretas, devido a maior rigidez dos tecidos, possibilitando aumento da capacidade fotossintética, redução da competição por luminosidade e do acamamento de plantas (EPSTEIN, 1999). Camargo (2016) destaca o melhor posicionamento das folhas, promovida pela deposição do Si, elevando o potencial fotossintético e consequentemente a produtividade das culturas. Em estudo realizado com cana-de-açúcar, Leite et al. (2008) obtiveram resultados positivos à utilização do silicato de cálcio na redução do acamamento. A mitigação do acamamento é justificada através da maior resistência da parede celular conferida pelo Si (ISLAM et al., 2020; HUANG et al., 2021).

Além disso, relata-se aumento da área foliar em função da dose de silício e maior crescimento inicial de plântulas na cultura do milho (LIMA et al., 2011). Desse modo, todos os benefícios obtidos pela aplicação de silicatos contribuem para a produtividade das culturas (Tabela 1), e esse aumento foi atestado para culturas como milho (MALFATO e MOURÃO, 2014), arroz (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004), cana-de-açúcar (KORNDORFER et al., 2002), trigo (OLIVEIRA et al., 2023) e soja (OLIVEIRA et al., 2015).

Tabela 1 – Efeitos do Si em diferentes culturas.

Cultura	Aplicação	Efeito	Autores
Milho	Foliar	Aumento de produtividade e do número de grãos/espiga	Teodoro et al. (2014)
Trigo	Solo	Aumento de produtividade	Mendonça et al. (2013)
Arroz	Solo	Melhora no sistema radicular e aumento de produtividade	Carvalho-Pupatto et al. (2004)
Cana-de-açúcar	Solo	Aumento de produtividade	Korndorfer et al. (2002)
Soja	Solo	Aumento número de vagens e produtividade.	Moreira et al. (2010); Oliveira et al. (2015)

Fonte: Adaptado de Ponce et al., 2022.

3 METODOLOGIA

3.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido na fazenda Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no município de Uberlândia - Minas Gerais, sob as coordenadas geográficas: 18°53'02,05"S e 48°20'33,41"W e altitude de 822 metros. O clima da região é caracterizado como Aw, tropical chuvoso quente, segundo a classificação de Koppen & Geiger, apresentando duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco (ALVARES et al., 2013).

Previamente, foram realizadas análises que permitiram classificar o solo como Latossolo Vermelho Eutrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2009).

Tabela 2 – Características químicas e granulométricas do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Uberlândia, MG – 2020.

pH água	Si*	M.O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	m	V
	mg kg ⁻¹	dag kg ⁻¹	...mg dm ⁻³ ..	cmol _c dm ⁻³									
5,3	6,2	2,3	4,9	103	4,0	1,4	0,1	1,9	5,66	5,76	7,56	2	75
Argila				Silte				Areia					
g Kg ⁻¹				g Kg ⁻¹				g Kg ⁻¹					
580				295				125					

Extratores: pH em água, Si extraído por Cloreto de Cálcio, K e P-assimilável por Mehlich-1, teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia da EMBRAPA (2009).

Fonte: Autor.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com cinco doses de Si e cinco repetições. As doses foram calculadas para se aplicar 400, 600, 800 e 1000 Kg ha⁻¹ de Si solúvel, com a aplicação de 1.038, 1.558, 2.076 e 2.596 Kg ha⁻¹ de Si total e 638, 958, 1.276 e 1.596 Kg ha⁻¹ de Si residual, além do tratamento controle, sem a aplicação de silicato. A fonte de Si utilizada foi o silicato de cálcio e magnésio (Agrosilício® Plus), sendo este aplicado via solo e incorporado manualmente no dia 10/05/2019. Destacam-se como características físicas e químicas do Agrosilício® Plus: granulometria fina (pó), 4,76% de Si solúvel, 12,26% de Si total, teor total de CaO de 37,82 % e 9,30 % de MgO, e poder reativo de neutralização total (PRNT) de 88%. Para equilibrar os teores de Ca e Mg no solo, nas parcelas

de testemunha, foi aplicado calcário dolomítico Ercal® (30,56 % de CaO e 8,66% de MgO) (Tabela 3).

Tabela 3 – Doses de Silicato de Ca e Mg e calcário dolomítico Ercal® aplicados no solo para obter o equilíbrio da quantidade de cálcio e magnésio. Uberlândia, MG – 2020.

Tratamento	Agrosílico	Calcario (Kg)	Ca	Mg	Si (Total)	Si (Residual)	Si (Solúvel)
Doses Kg ha ⁻¹							
T1	0	26.370	5.750	1.190	0	0	0
T2	8.510	15.830	5.750	1.190	1.038	638	400
T3	12.770	10.550	5.750	1.190	1.558	958	600
T4	17.020	5.270	5.750	1.190	2.076	1.276	800
T5	21.280	0	5.750	1.190	2.596	1.596	1000

*Solúvel em carbonato de sódio + nitrato de amônio

Fonte: Autor.

Após a aplicação do Si no solo, e anteriormente ao presente experimento, foram realizadas duas safras de trigo (2019 e 2020) e uma de milho (2019/2020). A cultura do milho avaliada neste estudo foi instalada na safra 2020/2021, 557 dias após a aplicação de silicato no solo. A área experimental foi composta por 250 m², divididos em 25 parcelas de 10 m², sendo dois metros de largura e cinco de comprimento. Para a semeadura do milho utilizou-se uma semeadora adubadora, para plantio direto. Foi semeado o híbrido 30F35VY HR Pioneer, com espaçamento de 0,5 metros entre linhas e 0,33 metros entre plantas, visando um estande inicial de 60.000 plantas por hectare. De modo que, cada parcela fosse constituída por 60 plantas distribuídas em quatro linhas de cinco metros de comprimento. Sendo a área útil do experimento composta por 12 plantas, situadas nas duas linhas centrais da parcela, perfazendo 2,0 m² por parcela e uma área útil total de 100 m².

Na adubação de semeadura aplicou-se 400 Kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-28-16, para fornecer 32 Kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 112 Kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) e 64 Kg ha⁻¹ de potássio (K₂O), baseado na recomendação de Alvarez et al. (1999). A primeira adubação de cobertura foi realizada 18 dias após a semeadura, no estágio V4 do milho (quatro folhas completamente desenvolvidas), aplicando 104 Kg ha⁻¹ de ureia e 72 Kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. Decorridos 13 dias desde a primeira cobertura, com o milho no estágio V8 (oito folhas

completamente desenvolvidas), realizou-se a segunda adubação de cobertura com 104 Kg ha⁻¹ de ureia.

3.2 Avaliações realizadas

Os procedimentos de análises foliar e de solo foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER/UFU). Com o intuito de analisar o teor de Si nas plantas de milho, na fase de pré-pendoamento, coletou-se a folha oposta à espiga em cinco plantas da área central de cada parcela. As folhas coletadas seguiram para secagem em estufa de circulação forçada de ar, foram trituradas em moinho de facas, seguindo para a determinação do teor de Si conforme a metodologia de Korndorfer et al. (2004).

Para verificar o teor de Si disponível no solo 480 dias após a aplicação do silicato, realizou-se amostragens de solo, na camada de 0 a 20cm e 77 dias antes da semeadura. A amostra foi composta por cinco amostras simples por parcela, e a análise de Si no solo foi feita por colorimetria (KORNDORFER et al., 2004).

Para avaliar a produtividade de grãos, aos 130 dias pós a semeadura, foi realizada a colheita manual das doze espigas das plantas componentes da parcela útil. Utilizando o medidor portátil de modelo G650i, determinou-se a umidade e o peso dos grãos colhidos na área útil de cada parcela. Posteriormente a produtividade foi estimada, em ton/ha⁻¹, corrigindo de acordo com o padrão de umidade dos grãos a 13%.

3.3 Análise dos dados

Os dados foram avaliados quanto a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos resíduos pelo teste de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente, no programa SPSS. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e de regressão com o programa estatístico SISVAR. Foi considerado 5% de significância em todos os testes.

4 RESULTADOS

Houve diferença no teor de Si disponível no solo 480 dias após a aplicação de diferentes doses de silicato de Ca e Mg no solo (Tabela 4).

Tabela 4 – Quadro de análise de variância dos teores de silício disponível no solo 480 dias após a aplicação de quatro doses de silicato de cálcio e magnésio e controle (sem aplicação de silicato). Uberlândia – MG, 2020.

ANAVA - Si no solo					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	4	6,8776	1,7194	0,568	0,6892
Tratamento	4	105,2216	26,3054	8,697	0,0006
erro	16	48,3944	3,02465		
Total corrigido	24	160,4936			
CV (%) =	16,7				
Média geral:	10,416		Número de observações:	25	

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV(%) Coeficiente de variação.

Fonte: Autor.

O teor de Si disponível no solo se ajustou a equação de 2º grau em relação a dose de silicato aplicada no solo. O teor de Si disponível no solo, após as três safras realizadas (trigo-milho-trigo), aumentou à medida que a dose de silicato de cálcio e magnésio adicionada ao solo foi maior, não atingindo um platô (Gráfico 1).

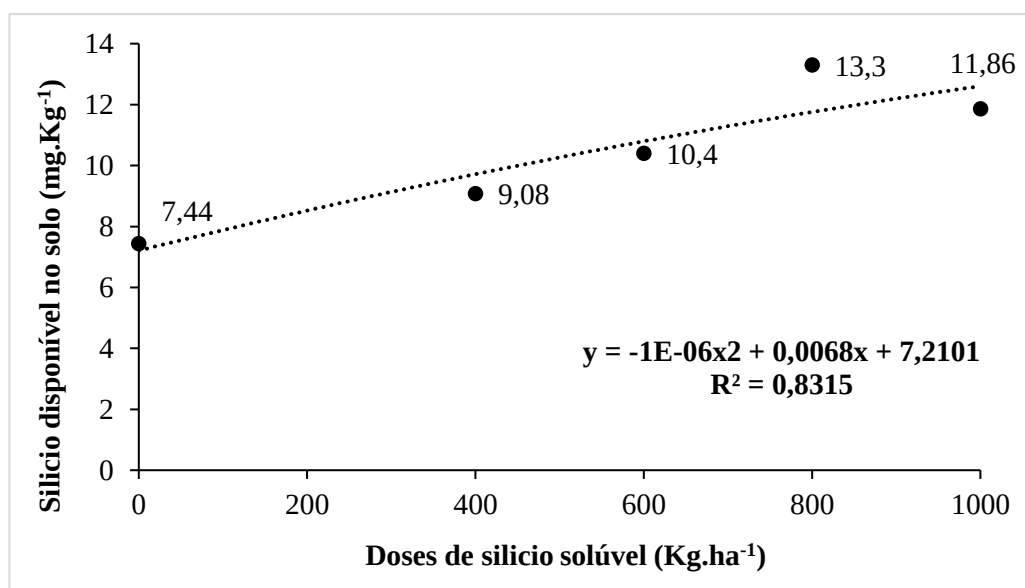


Gráfico 1 – Teores de silício (Si) solúvel no solo em função da aplicação no solo de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio.

De maneira análoga ao Si disponível no solo, o teor Si foliar foi diferente em função da dose de Si aplicada no solo (Tabela 5).

Tabela 5 – Quadro de análise de variância dos teores de silício foliar na fase de pré-
pendoamento das plantas de milho em função da aplicação no solo de quatro doses de silicato
de cálcio e magnésio e controle (sem aplicação de silicato). Uberlândia – MG, 2020.

ANAVA - Si Foliar					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Dose	4	5,9989	1,4997	3,82	0,0230
Bloco	4	1,1853	0,2963	0,755	0,5659
erro	16	6,2816	0,3962		
Total corrigido	24	13,4658			
CV (%) =	33,83				
Média geral:	1,852	Número de observações:		25	

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV(%) Coeficiente de variação.

Fonte: Autor.

O teor de silício foliar se ajustou a equação de 2º grau em relação a dose de silicato aplicada no solo, com aumento desses teor com o aumento da dose de silicato aplicada no solo. As plantas de milho do tratamento controle apresentaram 1,62% de silício na folha, com tendência de estabilidade até a dose de 600 Kg de Si por ha. Já para as doses de 800 e 1000 Kg.ha⁻¹ houve aumento no teor de silício foliar com 2,1 e 2,7% de silício na folha, respectivamente, sem apresentar um platô (Gráfico 2).

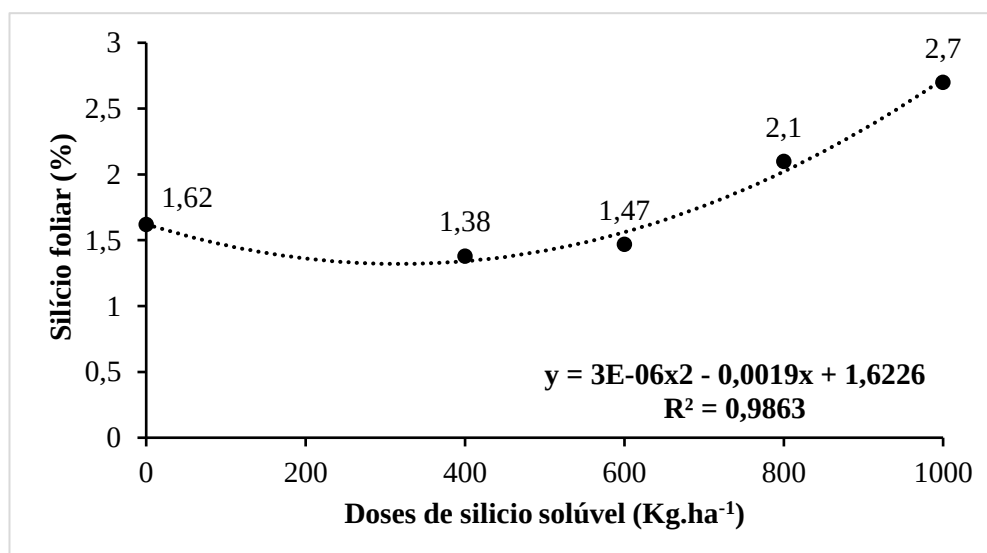


Gráfico 2 – Teores de silício foliar na fase de pré-pendoamento das plantas de milho em função da aplicação no solo de quatro doses de silicato de cálcio e magnésio e controle (sem aplicação de silicato). Uberlândia – MG, 2020

A produtividade do milho não foi influenciada pela dose de silicato aplicado no solo (Tabela 6), variando de 6.001,6 a 6.701,9 kg ha⁻¹ (Gráfico 3).

Tabela 6 – Quadro de análise de variância da produtividade de milho em função da aplicação no solo de quatro doses de silicato de cálcio e magnésio e controle (sem aplicação de silicato). Uberlândia – MG, 2020.

Variações	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Fc	Pr>Fc
Dose	4	1.632.832,68	408.208,17	0,358	0,8348
Bloco	4	35.318.639,08	8.829.659,77	0,358	0,0011*
erro	16	18.245.903,78	1.140.368,99		
Total corrigido	24	55.197.375,53			
CV (%) =	16,44				
Média geral:	6496,21		Número de observações:	25	

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV(%) Coeficiente de variação.

Fonte: Autor.

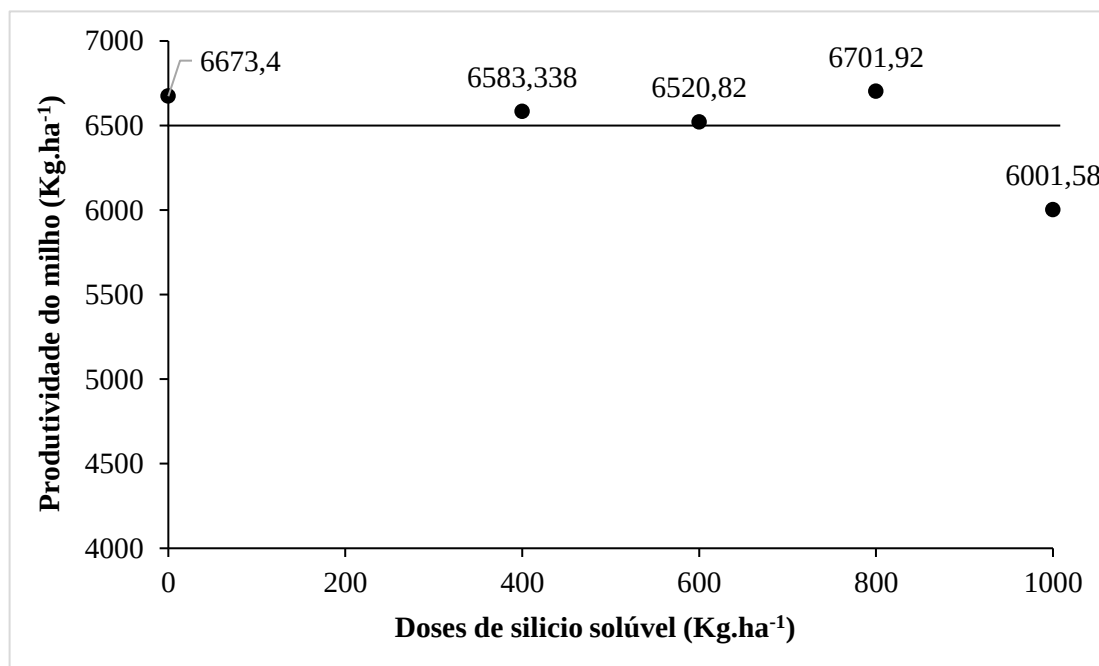


Gráfico 3 – Produtividade do milho em função da aplicação no solo de quatro doses de silicato de cálcio e magnésio e controle (sem aplicação de silicato). Uberlândia – MG, 2020.

5 DISCUSSÃO

Os teores de Si disponível no solo, após a aplicação das doses de silicato de cálcio e magnésio e condução dos três cultivos, foram maiores que os obtidos para a testemunha. Nesse sentido, a fonte Agrosilício® foi eficiente reagindo no solo e disponibilizando o silício residual de forma gradativa. De maneira análoga, houve aumento dos teores de Si foliar nas plantas de milho conforme houve acréscimo das doses de silicato aplicado no solo. Reis (2021) trabalhando com as safras de trigo e milho anteriores, nas mesmas condições deste experimento, observou que ambas as culturas absorveram maiores quantidades de Si em comparação com a testemunha, respondendo gradativamente ao aumento de Si no solo.

Para a dose de 600 Kg ha⁻¹, na qual observou-se 10,4 mg de Si por quilo de solo, o milho não acumulou mais Si que na testemunha. Nas doses de Si que proporcionaram níveis superiores à 11mg de Si por quilo de solo o acúmulo de Si nas folhas foi maior. Reis (2021) destaca que o acúmulo de Si, em plantas de milho e trigo, é relacionado com a disponibilidade deste elemento no solo. Plantas cultivadas em solos com teores de Si abaixo de 8 mg.dm⁻³ tendem a maiores respostas à adubação silicatada (KORNDORFER et al., 1999; 2010). O efeito do Si no controle de pragas é dependente da dose de Si aplica no solo (REIS, 2021; PERDOMO et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023) e doses acima de 400 kg de Si ha⁻¹ foram necessárias para a redução da população de *Rhopalosiphum maidis* (BOER et al., 2019) e da desfolha de *Spodoptera frugiperda* (PERDOMO et al., 2022) em milho e de pulgões em trigo (REIS, 2021). Segundo Reis (2021), o aumento de 4 para 8 mg de Si por dcm⁻³ de solo resultou em redução de 11% da população de pulgões em trigo, porém, essa redução foi de 29% em solos com teores superiores a 11 mg de Si por dcm⁻³ de solo.

No presente estudo não houve aumento na produtividade do milho em função do acréscimo nas doses de Si. Em condições experimentais semelhantes e utilizando a mesma fonte de Si, não constatou-se aumento na produtividade do milho e trigo (BOER et al., 2019; REZENDE et al., 2020; REIS, 2021; PERDOMO et al., 2022), porém, utilizando fonte mais solúvel (silicato de potássio), Oliveira et al. (2023) observou aumento gradativo da produtividade do trigo com o aumento da dose de Si. Com isso, é provável que a fonte de Si e não somente a dose, tenha influencia na produtividade de grãos. Por exemplo, Prado e Korndorfer (2003), utilizando fonte proveniente de escória de siderúrgica, também não obtiveram respostas de aumento na produtividade no milho através da adubação silicatada, e justificaram à ausência de resposta presumindo uma baixa absorção e translocação do Si pela planta ou até mesmo a não absorção.

Por vezes, o aumento de produtividade como efeito do silício é notado quando a cultura passa por estresses. Como é demonstrado no experimento realizado por Wenneck et al. (2021), onde o estresse hídrico foi atenuado pela adubação silicatada, possibilitando maiores produtividades com o aumento das doses de Si. Nesse sentido, os autores apontam que o Si reduziu os danos causados pelo estresse, permitindo que as plantas adubadas com silício obtivessem produtividades superiores às obtidas pelas plantas estressadas, que não receberam Si.

Sandim et al. (2010), observaram aumento na produtividade do milho com incremento de doses de Si até 4000 Kg ha⁻¹, utilizando como fonte pó de sílica, atribuindo o ganho de produtividade à outros benefícios promovidos pelo Si, como redução na taxa de transpiração e resistência à fatores bióticos e abióticos.

Há controvérsias, quanto aos resultados de produtividade obtidos pela adubação silicatada, os quais variam conforme a cultura, estágio de desenvolvimento ao realizar as aplicações, e a forma de aplicação do Si (POZZA et al., 2015). Na cultura da soja, estudos indicam o aumento de produtividade quando realizada adubação com Si via solo (OLIVEIRA et al., 2015) enquanto outro estudo aponta maior acúmulo de massa seca através da adubação foliar (MOREIRA et al., 2010). Sousa et al. (2010), testando a fonte silicato de potássio em milho observaram que doses a partir de 1L.ha⁻¹ foram efetivas em elevar a produtividade, atribuindo o aumento de produtividade obtido aos fatores apontados por Pulz (2007), que relaciona o incremento à maior resistência mecânica e tolerância ao estresse hídrico promovidos pelo Si.

Houve efeito residual do silicato de Ca e Mg aplicado 557 dias antes da semeadura do milho, indicando que doses que proporcionaram teores maiores do que 11 mg de Si por dcm⁻³ de solo levaram à maiores concentrações de Si nas folhas do milho. Mesmo tendo sido transcorrido um longo período da aplicação do silicato, o teor de Si disponível no solo foi compatível com os necessários para aumentar a resistência do milho e do trigo as pragas, o que indica como promissor a utilização do silicato de cálcio e magnésio no cultivo do milho.

6 CONCLUSÃO

Com o presente estudo conclui-se que houve efeito residual do silicato de Ca e Mg aplicado 557 dias antes da semeadura do milho.

As doses de silicato de 800 e 1.000 kg de Si solúvel por ha proporcionam teores acima de 11mg de Si disponível por dcm^{-3} de solo e promovem maior absorção do elemento pela planta, levando a maiores concentrações de Si nas folhas.

As doses de Si utilizadass não tiveram efeito sob a produtividade do milho.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ALVAREZ, V. H. A.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. p. 143-167.
- ARNON, D. I. & STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant physiol**, Washington, 14: 371-375, 1939.
- ASHER, C. J. Beneficial Elements, Functional Nutrients, and Possible New Essential Elements. IN: J. J. MORTIEDT, P. M. GIORDANO & W. L. LINDSAY (eds.) **Micronutrients in Agriculture**, 2nd ed. **Soil Science Society of America**, Madison, 1991. p. 703-723.
- BAKHAT, H.S.F.G.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H.M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M.R.; SHAH, G.M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219417302946?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- BOER, C. A., SAMPAIO, M. V., PEREIRA, H. S. Silicon-mediated and constitutive resistance to *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) in corn hybrids. **Bulletin of Entomological Research**, v. 119, n. 3, p. 356–364, 2019. <https://doi.org/10.1017/S0007485318000585>.
- CAMARGO, Mônica Sartori de. Efeitos do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **International Plant Nutrition Institute**, Brasil, v. 155, p. 1-8, set. 2016. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/11F5D686CAB4137C83258042004C1292/\\$FILE/Jornal-155.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/11F5D686CAB4137C83258042004C1292/$FILE/Jornal-155.pdf). Acesso em: 14 jan. 2024.
- CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; KORNDÖRFER, G. H. **Alterações químicas no solo em função da aplicação de silício na cultura do arroz**. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004, Uberlândia. Anais... Uberlândia: GPSI/ICIAG/UFU, 2004. 1 CD-ROM.
- CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. UNESP Botucatu, 2009. Dissertação Mestrado, p.160.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2023.

CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A. Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. **Water Air Soil Pollution**, v. 197, p. 323-330, 2008.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 403p

DOEBLEY, J.F. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. **BioScience**, v. 40, p. 443-448, 1990.

DOS SANTOS, M.; JUNQUEIRA, A. R.; DE SÁ, V. M.; ZANÚNCIO, J.; SERRÃO, J. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**, Modema, v. 12, p. 158–165, maio 2015.

DUFÉY, I.; GHEYSENS, S.; INGABIRE, A.; LUTTS, S.; BERTIN, P. Silicon application in cultivated rices (*Oryza sativa* L. and *Oryza glaberrima* Steud) alleviates iron toxicity symptoms through the reduction in iron concentration in the leaf tissue. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, p. 132-142, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2009. 306p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas**. Tradução e notas de E. Malavolta. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos. Ed. S.A., 1975. 341 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 186 f. Monografia (Especialização) - Curso de Solos e Meio Ambiente, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 65f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG, 2000.

FORNAESIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.

GOODMAN, M. História e origem do milho. In Paterniani, E. (ed.). **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Fundação Cargill. 1978. 650p.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina-PR, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GUALBERTO, C. A.C. **Subprodutos industriais como fontes de silício e condicionadores de solos tropicais em cultivo de arroz inundado**. Uberlândia: UFU, 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.747>. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21430/3/SubprodutosIndustriaisFontes.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024.

GUNES, A., PILBEAM, D.J., INAL, A.;BAGCI, E.G.; COBAN, S. (2007). Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, 2, 105-113. <https://doi.org/10.1080/1742914070152939>

GURR, G. M.; KVEDARAS, O. L. Synergizing biological control: scope for sterile insect technique, induced plant defenses and cultural techniques to enhance natural enemy impact. **Biological control**, Orlando, v. 52, p. 198-207, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.02.013>.

HODSON, M.J. & A.G. SANGSTER. 1988. **Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.), with particular reference to silicon.** *Ann. Bot.* 62: 463-471.

HUANG, H., LI, M., RIZWAN, M., DAI, Z., YUAN, Y., HOSSAIN, MD M., CAO, M., XIONG, S.; TU, S.. Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 401, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123393>.

ISLAM, W.; TAYYAB, M.; KHALIL, F.; HUA, Z.; HUANG, Z.; CHEN, H.Y.H.. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry And Physiology**, v. 168, p. 104641, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>.

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., & CAMARGO, M. S. (2002). Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, 21, (2): 34-37.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante.** Uberlândia: GPSiICIAG-UFU, 2004. 39 p.

KORNDÖRFER, G. H. **Uso do Silício na Agricultura.** Uberlândia: ICIAG, 2015.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Silício no solo e na planta.** 2. ed. Uberlândia: UFU-GPSi-ICIAG, 2004.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. CDD 22.ed. 631.811, p. 355-374.

KORNDÖRFER, G.H.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, A.G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 119- 125, 2010. <https://doi.org/10.5216/pat.v40i2.3922>.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 635-641, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300017>.

LEITE, G. M. V. ANDRADE, L. A.B; GARCIA, J. C; ANJOS, I. A. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-1816. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1120-1125, 2008.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 422-428, 2007.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENEASFILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011.

LIU, J.; ZHU, J.; ZHANG, P.; HAN, L.; REYNOLDS, O.L.; ZENG, R.; WU, J.; SHAO, Y.; YOU, M.; GURR, G.M. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. **Front Plant Science**, v. 8, p. 1-8, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01265>.

LUYCKX, M., HAUSMAN, J. F., LUTTS, S., and GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Plant Science**. v. 8, n. 411, p. 1-8, March 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00411/pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024.

MA, J. F., MIYAKE, Y., & TAKAHASHI, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants In: Datnoff, L. E., Snyder, G. H., Korndörfer, G. H., Eds., Silicon in agriculture, **Studies in Plant Science** 8, Amsterdam, Elsevier, 17-39

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 254 p.

MALFATO, R. A.; MOURÃO, A. P. M. **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. 2014

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 4, p. 380–388, out./dez. 2013. DOI: 10.4322/rca.2013.057. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2013.057>. Acesso em: 10 jan. 2024. <https://doi.org/10.4322/rca.013.057>.

MENDES, Alessandra Monteiro Salviano. **Introdução a fertilidade do solo**. Barreiras: Embrapa Semi-Árido, 2007. 64 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

MEYER, J.H.; KEEPING, M.G. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H., eds. **Silicon in agriculture**. Amsterdam, Elsevier Science, p.257-276, 2001.

MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; BASAGLI, M. A. B.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; SAMPAIO, M. V. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the Gressnbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera:Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera:Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.

NEUMANN D.; NIEDEN U.Z. Silicon and heavy metal tolerance of higher plant. **Phytochemistry**. 2001; 56:685-92.

OLIVEIRA, R.S. DE; PEÑAFLORES, M.F.G.V.; GONÇALVES, F.G.; SAMPAIO, M.V.; KORNDÖRFER, A.P.; SILVA, W.D. et al. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **PLoS ONE**, v. 15, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231005>. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/42984>. Acesso em: 14 jan. 2024.

OLIVEIRA, R. S. de; SAMPAIO, M. V.; CARVALHO, F. J.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; KORNDÖRFER, G. H. Silicon amendments reduce aphid numbers and improve yield of aphid-resistant and susceptible wheat cultivars in a dose-dependent manner. **Crop Protection**, v. 172, p. 106296, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106296>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219423001199>. Acesso em: 18 abr. 2024.

OLIVEIRA, S. DE, LEMES, E. S., MENEGHELLO, G. E., TAVARES, L. C., BARROS, A. C. A. (2015). Aplicação de silício via solo no rendimento e na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(5), 3029–3042. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n5p3029>

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de Si no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.101-108, 2003

PONCE, Franciely da Silva et al. Adubação silicatada na produtividade e respostas fisiológicas das plantas. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 11, n. 16, p. 1-12, 3 dez. 2022. **Research, Society and Development**. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37926>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37926/31513>. Acesso em: 14 jan. 2024.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-deaçúcar em vaso. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

RANDOLPH, L.F. History and origin of corn. II. Cytogenetic aspects of the origin and evolutionary history of corn. In: SPRAGUE, G.F. (ed.) **Corn and corn improvement**. New York: Academic Press, 1955. p. 16-61.

REIS, Moraes Carneiro dos. Doses e tempo de solubilização no solo do silicato de cálcio e de magnésio na população de *Sitobion avenae* (FABRICIUS) (Hemiptera: Aphididae) e na

produtividade do trigo. 2021. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35228>. Acesso em: 20 nov. 2023.

REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; RODRIGUES, C. R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte.: EPAMIG, 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p

REYNOLDS, O. L., PADULA, M. P., ZENG, R., AND GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. **Front. Plant Science**, v. 7, n. 744, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4904004/pdf/fpls-07-00744.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024.

REZENDE, G. F.; SAMPAIO, M. V; MACHADO, B. Q. V; LIMA, D. T.; PERDOMO, D. N; CELOTO, F. J.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, E. J. M.; OLIVEIRA, R. S.; PEREIRA, H. S. Effect of silicon on aphid populations and wheat yield in Minas Gerais, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 6, p. 2481-2494, nov./dez. 2020. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020>

RODRIGUES, F. A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; BELANGER, R. R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, v. 93, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: Um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba-SP, n. 134, p. 14-28, 2011. Disponível em < <http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/> >. Acesso em: 16 jan. 2024.

SANTOS, G. A. Silício na produção de cana-de-açúcar. 2017. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2017.69>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19796/1/SilicioProducaoCanaAcucar.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2024.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H., DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, v. 58, p.151-199, 1997. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60255-2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211308602552>. Acesso em: 08 jan. 2024.

SCHMIDT RE, ZHANG X & CHALMERS DR (1999) Response of ptotosynthesis and superoxide dimutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, 22:1763-1773.

SILVA, A. J.; NASCIMENTO, C. W.; GOUVEIA-NETO, A. S.; SILVA JUNIOR, E. A. Effects of silicon on alleviating arsenic toxicity in maize plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 289- 296, 2015.

SINGH, A.; KUMAR, A.; HARTLEY, S., SINGH, I. K. Silicon: its ameliorative effect on plant defense against herbivory. **Journal of Experimental Botany**, 27 June, 2020. DOI: 10.1093/jxb/eraa300. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32591824/>. Acesso em: 08 jan. 2024.

TISDALE, S. et al. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. New York: Prentice Hall, 1985.

WANG, M.; GAO, L.; DONG, S.; SUN, Y.; SHEN, Q.; GUO, S. Role of silicone on plant-pathogen interactions. **Frontiers in plant science**, v. 8, n. 701, p. 1-14, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>.

WEATHERWAX, P. The pylogeny of Zea mays. **American Midland Naturalist**, 16:1- 71, 1935.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences**, Ibaraki, v.15, p.1-58, 1965.