



ELEVAÇÃO DO FÓSFORO DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO, TENDO COMO INDICADOR A CULTURA DO MILHO.

ELEVATION OF PHOSPHORUS IN SOIL BY THE APPLICATION OF CALCIUM AND MAGNESIUM SILICATE, HAVING CORN CULTURE AS INDICATOR

Cristian Epifanio TOLEDO*¹ • Lucas Alves FERNANDES¹ • João Carlos Mohn NOGUEIRA¹ • Magaly Fonseca MEDRANO²

Resumo

O silicato de cálcio e magnésio tem sido relacionado ao aumento do fósforo, a elevação do pH e o aumento da disponibilidade do cálcio e magnésio trocável do solo, entre outros benefícios. O objetivo foi avaliar a influência de diferentes dosagens de CaSiO_3 e MgSiO_3 na disponibilidade de P solúvel presente em um solo argiloso cultivado com milho grão. O experimento foi realizado em DBC, com 5 diferentes doses de CaSiO_3 e MgSiO_3 no cultivo de milho grão: 0; 100; 200; 300 e 400 kg ha^{-1} . A performance da cultura aos tratamentos foi avaliada por meio do teor de P na planta, a altura das plantas, o peso de 1000 grãos e produtividade. O maior teor de P na planta, foi do tratamento com 200 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ (2,5 g P kg^{-1} massa seca), que não diferindo dos tratamentos superiores. As dosagens de 300 e 400 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ resultaram nas maiores produtividades de 5305 e 5656 kg ha^{-1} , respectivamente. A aplicação de CaSiO_3 e MgSiO_3 demonstrou potencializar as características agrônomicas do milho, principalmente, o teor de fósforo na planta e a produtividade, que tiveram aumento significativo de seus valores.

Palavras-chave: *Fertilidade; Silício; Disponibilidade de fósforo; Milho safrinha.*

Abstract

Calcium magnesium silicate has been linked to increased phosphorus, increased pH and increased availability of exchangeable soil calcium and magnesium, among other benefits. The objective of evaluate the influence of different dosages of CaSiO_3 and MgSiO_3 on the availability of soluble P present in a clayey soil cultivated with corn. The experiment was carried out in DBC, with 5 different doses of CaSiO_3 and $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ in the cultivation of corn: 0; 100; 200; 300 e 400 kg ha^{-1} . The performance of the culture to the treatments was evaluated through the P content and the height in the plant, the weight of 1000 grains and productivity. The highest P content in the plant was from the treatment with 200 kg of CaSiO_3 and $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ (2.5 g P kg^{-1} dry mass), not differing from the higher treatments. Dosages of 300 and 400 kg of CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ resulted in the highest productivity of 5305 and 5656 kg ha^{-1} , respectively. The application of CaSiO_3 and MgSiO_3 has shown to potentiate the agronomic characteristics of corn, mainly the phosphorus content in the plant and productivity, which had a significant increase in their values.

Palavras-chave: *Fertility; Silicon; Phosphorus availability; Winter corn*

✉ Cristian Epifanio Toledo, cristian.toledo@ueg.br

- 1 Agronomia, Instituto Acadêmico Ciências Agrárias e Sustentabilidade, Unidade de Palmeiras de Goiás, Universidade Estadual de Goiás
- 2 Ciências Ambientais, Pesquisadora da Universidade de Brasília

Manuscrito recebido: 29 de maio de 2023

Aceito para publicação: 5 de agosto de 2023

Introdução

A agricultura vem passando por várias mudanças no decorrer dos últimos anos, principalmente, devido as grandes descobertas científicas que ocorreram no final do séc. XIX, que trouxeram novas tecnologias e conhecimentos, como por exemplo na interação nutrição-solo-fertilizantes. Os vegetais de forma geral, apresentam características semelhantes de necessidade nutricional, destacando a maior exigência ao nitrogênio (N), potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Fósforo (P) (VILLAS BÔAS et al., 2005; LIMA et al., 2020).

Segundo Freire (2009) o nitrogênio é um dos nutrientes minerais absorvidos em grande

quantidade e o que mais limita o crescimento das plantas de milho. Já o fósforo é indispensável no crescimento e na produção das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional. Visto que o fósforo é um constituinte de importantes compostos das células vegetais, incluindo o fosfato encontrado nas moléculas de açúcares intermediários da respiração e fotossíntese.

Conforme Castro et al. (2016), a exigência de P pelas plantas é menor quando comparado as quantidades requeridas de N e K. Porém, o P é um elemento que está associado à máxima produção econômica de grãos de milho, sendo que, de 80 a 90% do seu total absorvido pelas plantas de milho são direcionados os grãos, o que mostra uma grande necessidade de reposição deste nutriente.

Outro fator que deve ser considerado na nutrição de planta, referisse a disponibilidade dos elementos na solução do solo, destacando-se a baixa disponibilidade de fósforo (GONÇALVES et al., 1989). Essa baixa disponibilidade de fósforo é explicada e avaliada sobre a fração argila na constituição mineral do solo e também sendo observado o P nos materiais de origem dos solos e devido aos diversos processos físico-químicos de retenção do elemento. Entre estes, o processo de adsorção de P tem sido muito analisado no decorrer dos anos, principalmente devido fator de adsorção ser o principal processo de retenção do elemento nos solos argilosos. Adsorção do P remanescente pode ser utilizado como estimador da atividade sortiva de P pelos solos, conforme afirmado por Alvarez e Fonseca (1990), demonstram vantagens em relação ao teor de argila, pois, além de ser mais rápido e simples, é potencialmente mais preciso, por avaliar diretamente o potencial de remoção fosforo.

Chaves et al. (2009) comentam a importância de se estudar os processos que envolvem a adsorção de P nos solos, e enfatizam que os mesmos ajudam na compreensão dos fatores que influenciam na concentração de P na solução do solo e, conseqüentemente, no adequado suprimento às plantas. Sabe-se, por exemplo, a existência de uma disputa entre ânions com íons fosfatados pelos sítios de adsorção dos colóides do solo, sendo esta relação vista como uma possível solução para minimizar os problemas de adsorção de P nos solos, principalmente, em solo tropicais (ANDRADE et al., 2003) altamente intemperizado, com alto percentual de argila.

O silício utilizado na adubação, até então tido como micronutriente, concebidos basicamente de silicato de cálcio e magnésio (CaSiO_3 e MgSiO_3), quando absorvido pela planta é depositado na parede da célula vegetal, onde ocorre sua polimerização e formação de uma dupla camada de silício cuticular, ocorrendo o enrijecimento da parede (RAHMAN et al., 2015; MARCHIORO et al., 2019). No solo, o CaSiO_3 e MgSiO_3 , além de estar sendo relacionado ao aumento do P, apresentando diversos benefícios, como a elevação do pH e aumento da disponibilidade do cálcio e magnésio trocável do solo (KORNDÖRFER et al., 1999 e 2006).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes dosagens de silicato de cálcio e magnésio (CaSiO_3 e MgSiO_3), na disponibilidade de fósforo solúvel presente em um argiloso cultivado com milho grão safrinha no ambiente do Cerrado goiano.

Material e métodos

O experimento foi realizado em uma área privada rural do município de Palmeiras de Goiás – GO. A região possui um clima tropical, sendo classificada como clima Aw de acordo com a Köppen e Geiger (1928), com chuvas mais concentradas no verão, com temperatura média de 24 °C, média de pluviosidade anual de 1457 mm e uma elevação média de 632 m.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados (DBC), com 5 blocos e 5 tratamentos, sendo os tratamentos formados por 0; 100; 200; 300 e 400 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$. O Silicato de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) utilizado possuía na sua formulação uma combinação de 22% de silício, 36-40% de CaO, 6-9% de MgO, 1,6% de Fe, 2,9% de Mn, 0,9% de K, 2,5% de P, 0,9% de S, 0,6% de Zn, 0,3% de Cu, 0,8% de B, 0,001% de Mo, 0,007% de Co, 79% de PN e 63% de PRNT.

Os tratamentos foram realizados em conjunto com uma adubação de N-P-K, conforme a necessidade da cultura e a análise de solo da área (Tabela 1). Em ambos os procedimentos, os adubos foram aplicados no sulco de plantio. A adubação de N e K₂O foi realizada em duas aplicações, 50% no plantio e os outros 50% em cobertura, quando as plântulas possuíam 30-45 dias de emergência (dia após emergência - DAE).

Tabela 1. Análise do solo utilizado para recomendação da adubação realizada no experimento

pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	CTC	Sat.Bas.	Argila	Silte	Areia
CaCl ₂	cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³			Cmol dm ⁻³	%	g kg ⁻¹		
4,8	1,2	0,7	0,0	2,4	0,45	2,7	4,79	49,85	440	110	450

Fonte: de acordo com dados obtidos do Laboratório Fertil Laboratório Agrônômico.

Para avaliar os efeitos dos tratamentos com CaSiO₃ e MgSiO₃ na disponibilidade de fósforo na solução do solo, foi implantada na área a cultura do milho para grãos, sendo utilizado a cultivar B2801 Vitra 3 Letra, cujo ciclo varia de 110 - 130 dias. Cada tratamento foi constituído por 3 linhas de cultivo, com comprimento de 2 metros lineares cada, sendo nas avaliações, utilizadas apenas a linha central e as 3 plantas mais centrais desta linha central, para caracterizar o valor médio obtido no tratamento, evitando assim o efeito de bordadura.

A semeadura foi realizada no mês de fevereiro na data: 15/02/2022 (2° safra safrinha de verão) via plantio direto, ocorreu um preparo inicial do solo, com o revolvimento das camadas entre 0 a 30 cm de profundidade do solo, com o uso do arado de disco e grade niveladora 30 dias antes. O espaçamento de semeadura foi de 0,5 m entre linha, com 3 sementes por metro linear, o que resultou em uma população de aproximadamente 60.000 plântulas ha⁻¹. Foi realizado todos os tratos culturais demandado pela cultura, como adubação de zinco, controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

A performance da cultura aos tratamentos foi avaliada por meio da caracterização agrônômica, na qual avaliou-se o teor de fósforo na planta (análise do terço central da folha da base da espiga - 4° folha, realizado em laboratório credenciado) no final da fase vegetativa VN (início do pendramento, passagem do vegetativo para o reprodutivo); a altura das plantas na fase reprodutiva R2 (grão leitoso - comprimento do solo ao pendão); o peso de 1000 grãos, conforme Brasil (2009) e a produtividade, após a maturação fisiológica R6, foi estimada no restante da parcela útil, corrigindo-se a umidade para 14%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F a 5% de probabilidade, e regressão polinomial linear e quadrática a 5% de probabilidade para as dosagens de CaSiO₃ e MgSiO₃, utilizando o software Sisvar.

Resultados e Discussão

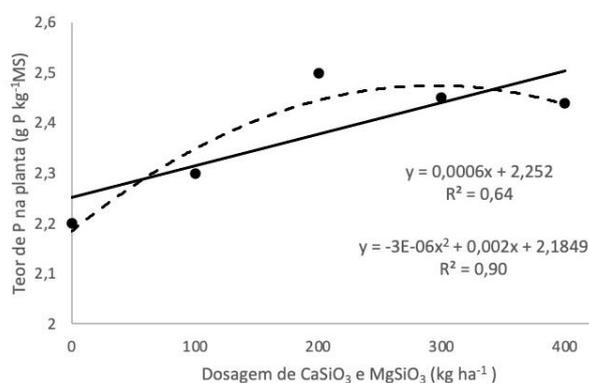
A aplicação de CaSiO₃ e MgSiO₃ na disponibilidade de fósforo na solução do solo, tendo como parâmetro avaliativo a caracterização agrônômica do milho grão, demonstrou que os tratamentos resultaram em diferença significativa a 5% de probabilidade apenas nas características agrônômicas avaliadas teor de P na planta e produtividade (Tabela 2). Cabe ressaltar, que na análise de variância dos blocos não demonstraram diferença significativa a 5% probabilidade em nenhuma das variáveis analisadas, combinada com os valores obtidos de coeficiente de variância (CV), todos menores que 20%, demonstrando uma baixa a média variação, conforme a classificação de Gomes (1990) para experimento de campo com culturas agrícolas. Uma baixa a média variação, significa que o experimento apresentou uma padronização nos resultados obtidos nas repetições dos tratamentos, assim, as diferenças estatísticas significativas observadas nos tratamentos, advém dos próprios tratamentos, e não de efeitos de fatores aleatórios.

O teor de fósforo (Figura 1) na planta médio foi de 2,38 g P kg⁻¹ MS (massa seca), sendo o maior valor obtido no tratamento com 200 kg de CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹ de 2,50 g P kg⁻¹ MS, não diferindo dos tratamentos de 300 e 400 kg de CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹ (2,41 e 2,41 g kg⁻¹, respectivamente). O menor teor de P, foi obtido no tratamento sem aplicação do CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹ (2,2 g P kg⁻¹ MS), que quando comparado com os tratamentos de 100, 200, 300 e 400 kg CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹, foi superado em apenas 0,1; 0,3; 0,25 e 0,25 g P kg⁻¹ MS, respectivamente. Desse modo, a tendência do teor de fósforo na planta foi aumentar com como resposta do aumento da dosagem de CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹ até 300 kg CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹, sendo significativo ao modelo linear (FC = 36,4 e P = 0,000) e quadrática de regressão (FC = 15,3 e P = 0,001) com um R² de 64 e 90%, respectivamente.

Tabela 2. Análise de variância pelo teste de F a 5% de probabilidade das características agrônômicas do milho utilizadas para caracterizar a disponibilidade de fósforo na solução do solo sob diversas dosagens de CaSiO_3 e MgSiO_3 (kg ha^{-1}).

FV	Teor de P na Planta ¹ (g P kg^{-1} MS)	Altura da Planta (m)	PMG (g)	Produtividade (kg ha^{-1})
Tratamento	14,43*	0,14 ^{ns}	0,93 ^{ns}	13,05*
Blocos	0,14 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,32 ^{ns}
CV (%)	9,05	8,62	17,43	7,59
Média	2,38	2,61	219,40	5026,5

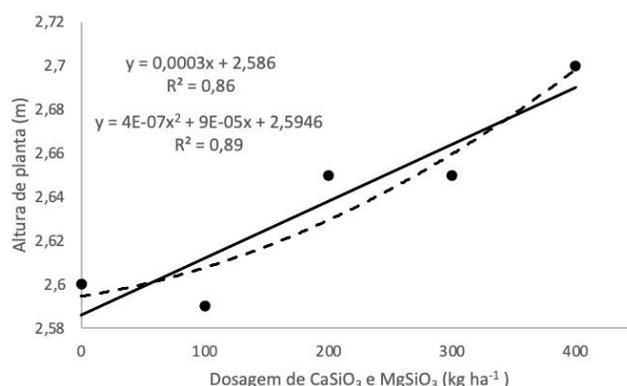
Obs.: ¹Teor de fósforo na planta, de acordo com dados obtidos do Laboratório Fertil Laboratório Agrônômico em g de P por kg de massa seca. NS igual não significativo e * igual a significativo a 5% de probabilidade, ambos pelo teste de F.

**Figura 1.** Teor de fósforo (P kg^{-1} MS, MS - massa seca) do milho analisado no estágio fenológico vegetativa VN (início do pendoamento) sob o efeito de diferente dosagem de CaSiO_3 e MgSiO_3 aplicado ao solo.

A altura do milho grão na fase reprodutiva R2 (grão leitoso) sob o efeito da aplicação de CaSiO_3 e MgSiO_3 no solo apresentou uma altura média de 2,64 m (Figura 2) e o tratamento com 400 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ foi o que obteve a maior altura de planta, de 2,70 m. Contudo, o tratamento em questão não diferenciou dos demais tratamentos pelos modelos linear ($FC = 0,018$ e $P = 0,895$) e quadrático de regressão ($FC = 0,386$ e $P = 0,543$) com um R^2 de 86 e 89%, respectivamente. Cabe ressaltar, que os modelos, linear e quadráticos, apresentaram incremento positivo, o aumento da dosagem de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ resultando em uma planta numericamente mais alta.

A resposta de peso de mil grãos (PMG) ao efeito dos tratamentos foram similar a variável analisada anterior (Figura 3). Não ocorreu diferença significativa para os modelos linear ($FC = 0,213$ e $P = 0,651$) e quadráticos ($FC = 0,031$ e $P = 0,862$), que apresentaram um ajuste de R^2 de 79 e 84%, respectivamente. Numericamente, os dois tratamentos com as maiores dosagens de CaSiO_3

e MgSiO_3 , obtiveram os maiores valores de PMG, 251 e 252 g, em média 36 g superior aos demais tratamentos. Os tratamentos com 0, 100 e 200 kg de CaSiO_3 e MgSiO_3 obtiveram uma diferença de apenas 2,6 g no PMG, entre os mesmos.

**Figura 2.** Teor de fósforo (P kg^{-1} MS, MS - massa seca) do milho analisado no estágio fenológico vegetativa VN (início do pendoamento) sob o efeito de diferente dosagem de CaSiO_3 e MgSiO_3 aplicado ao solo.

Avaliando a produtividade do milho safriinha (Figura 4), foi observado que a média geral dos tratamentos foi de 5026 kg ha^{-1} , ocorrendo uma tendência positivo na resposta da produtividade ao aumento da dosagem de CaSiO_3 e MgSiO_3 . Os modelos linear e quadrático tiveram resposta aos tratamentos com diferença significativa ($FC_{\text{linear}} = 30,6$ e $P_{\text{linear}} = 0,000$; $FC_{\text{quadrático}} = 17,7$ e $P_{\text{quadrático}} = 0,001$, respectivamente) e ajuste de R^2 de 94%, para ambos modelos. Os tratamentos 300 e 400 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ apresentaram uma produtividade de 5305 e 5656 kg ha^{-1} e foram superiores aos demais tratamentos. O tratamento sem aplicação de CaSiO_3 e MgSiO_3 e 100 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ foram estatisticamente semelhantes, porém inferior-

res ao tratamento com 200 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$.

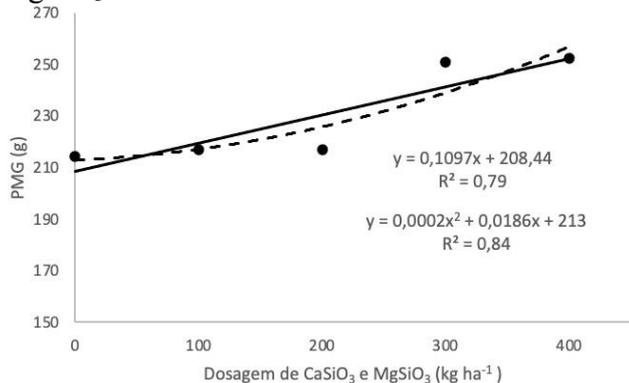


Figura 3. Peso de mil grão (PMG) de milho sob o efeito de diferente dosagem de CaSiO_3 e MgSiO_3 aplicado ao solo.

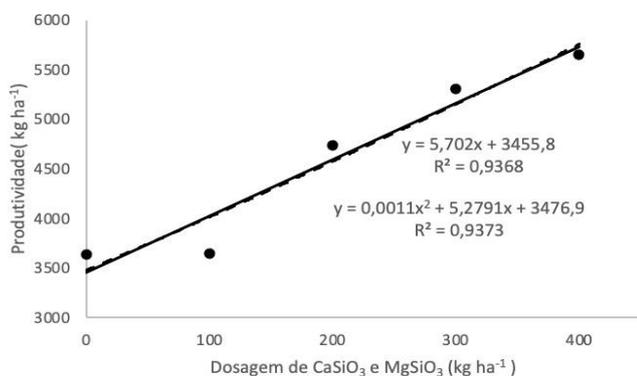


Figura 4. Produção de milho sob o efeito de diferente dosagem de CaSiO_3 e MgSiO_3 aplicado ao solo.

De forma geral, observou-se que os tratamentos que receberam a aplicação acima de 200 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ demonstraram os melhores resultados nas características agrônômicas do milho analisadas. Especificamente, as dosagens de 300 e 400 kg de CaSiO_3 e $\text{MgSiO}_3 \text{ ha}^{-1}$ foram em todas as características do milho analisadas, os tratamentos que proporcionaram os maiores valores e estatisticamente semelhantes entre si. O experimento utilizando a cultura do milho como indicativo do efeito da adubação de CaSiO_3 e MgSiO_3 , demonstra que tal adubo realizada na dosagem correta, tem efeitos positivos nas características agrônômicas do milho, destacando o aumento da produção do milho safrinha em aproximadamente, 1800 kg ha^{-1} (incremento de 43%, quando comparado com o tratamento sem aplicação de CaSiO_3 e MgSiO_3), bem como, o aumento da concentração de fósforo na planta, da ordem de 0,24 g kg^{-1} (10% a mais que o tratamento sem aplicação de CaSiO_3 e MgSiO_3).

O efeito positivo da aplicação de CaSiO_3 e MgSiO_3 na produtividade do milho neste traba-

lho é atribuído aos benefícios da adubação silicatada ao solo. Jones e Handreck (1965) e Fox et al. (1967) já mencionavam na década de 60, que a aplicação do silício no solo proporciona um aumento na produtividade de diversas culturas, e este aumento é proporcional à concentração de sílica solúvel no solo. Outros autores também relatam este efeito, Munaro e Simonetti (2016) que ao cultivar milho com cinco diferentes dosagens de silício, observaram um incremento médio de 3700 kg ha^{-1} quando comparado a testemunha (sem aplicação de silício).

O aumento do CaSiO_3 e MgSiO_3 na solução do solo tem sido relacionado a melhorias das características produtivas das plantas, através de ações indiretas. Entre estas ações destacam-se a diminuição da toxicidade de Na, Fe, Mn e Al na solução do solo, a correção da acidez do solo (elevação do pH), fornecem nutrientes, além do aumento da resistência das plantas a estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (estresse hídrico) (FREITAS et al., 2015; ALMEIDA et al., 2017). O silício quando absorvido, é depositado na parede da célula vegetal, formando uma camada dupla de silício cuticular, promovendo um endurecimento da parede. O endurecimento da parede, por sua vez proporcionando bons níveis de controle fitossanitário das culturas, bem como, a melhora na arquitetura das plantas e melhor utilização de recursos hídricos (GOUSSAIN et al.; 2002; RAHMAN et al.; 2015; MIRANDA et al.; 2018; MARCHIORO et al.; 2019).

Quanto ao efeito positivo do CaSiO_3 e MgSiO_3 no aumento da concentração de fósforo na planta, é atribuído a maior disponibilidade de fósforo na solução do solo promovida pela aplicação do silício. É sabido que o fósforo possui uma baixa disponibilidade na solução do solo, sendo esta baixa disponibilidade ligada a maior capacidade de adsorver ânions pelos solos intemperizados (LIMA, 2020; VINHA et al., 2021). Como consequência, cada vez mais, elevadas doses de fertilizantes fosfatados são necessárias para aumentar a disponibilidade desse elemento para as plantas (Nunes et al., 2011).

Contudo, estudos demonstram que o P e os fertilizantes silicatados (SiO_3) disputam entre si pelos mesmos sítios de adsorção, os ânions SiO_{4-3} e PO_{4-3} competem pelos mesmos sítios de adsorção (POZZA; POZZA; BOTELHO, 2015; KLOTZBÜCHER et al., 2020; ALAM et al., 2022; EL LBOUDI et al., 2022; GHOSH et al., 2023). Deste modo, a aplicação de fertilizantes

SiO₃ no solo, aumentam a disponibilidade do P na solução do solo, por meio do deslocamento do P adsorvido na superfície dos sesquióxidos (LIMA FILHO, 2009), bem como, nos óxidos de Fe e Al, através da saturação dos sítios de absorção de P (PRADO; FERNANDES, 2001). Outro fator que tem colocado a adubação com fertilizantes SiO₃ de suma importância na redução da necessidade de adubação com P₂O₅, é apresentado por Matichenkov e Calvert (2002) que observaram que os fertilizantes SiO₃ adsorvem o P solúvel, mantem na forma trocável na superfície dos SiO₃ e assim disponível às plantas, porém diminui a sua lixiviação em cerca de 40 a 90%.

Portanto, Carvalho et al. (2001) recomenda que a adubação SiO₃ seja realizada antes da adubação fosfatada, proporcionando assim, uma saturação dos sítios de absorção do PO₄₋₃ dos colóides com SiO₄₋₃, o que possibilitaria o aumento da disponibilidade de P na solução do solo. Cabe ressaltar, que o P é um elemento que está associado à máxima produção econômica de grãos de milho, sendo que, de 80 a 90% do seu total absorvido pelas plantas de milho são direcionados os grãos, o que mostra uma grande necessidade de reposição deste nutriente (CASTRO et al., 2016).

Conclusões

A aplicação de silicato de cálcio e magnésio (CaSiO₃ e MgSiO₃) demonstrou potencializar as características agronômicas do milho grão analisadas, principalmente, o teor de fósforo na planta e a produtividade que tiveram aumento significativo de seus valores.

As plantas que receberam a aplicação de CaSiO₃ e MgSiO₃ via solo, demonstraram um teor de fósforo na planta em média de 0,25 g kg⁻¹ de massa seca superior as plantas que não receberam o CaSiO₃ e MgSiO₃, indicando que os fertilizantes silicatados (SiO₃) podem atuar positivamente na solução do solo e elevar a disponibilidade de fósforo solúvel do solo.

As dosagens de 300 e 400 kg de CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹ foram as que promoveram os maiores incrementos nos parâmetros avaliados, sendo estatisticamente iguais, sendo assim, recomendado a dosagem de 300 kg de CaSiO₃ e MgSiO₃ ha⁻¹, como base para novos estudos do efeito do CaSiO₃ e MgSiO₃ sobre a disponibilidade do fósforo no solo, bem como, adubação no milho.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Goiás pela concessão dos laboratórios para realização da pesquisa. A empresa SiliFértil Ambiental LTDA pela doação do silicato de cálcio e magnésio (CaSiO₃ e MgSiO₃) e o Laboratório Fértil Laboratório Agrônomo pelas análises foliares realizadas.

Referências

ALAM, K.; BISWAS, D. R.; BHATTACHARYYA, R.; DAS, D.; SUMAN, A.; DAS, T. K.; PAUL, R. K.; GHOSH, A.; SARKAR, A.; KUMAR, R. Recycling of silicon-rich agro-wastes by their combined application with phosphate solubilizing microbe to solubilize the native soil phosphorus in a sub-tropical Alfisol. **Journal Environmental Management**, v. 318, p. 1 a 12, 2022.

ALMEIDA, L. H. C.; KLEIN, P. H.; OLIVEIRA, E. C.; MIGLIORANZA, E. Silício e disponibilidade de fósforo no crescimento e desenvolvimento de mudas de café. **Cultura Agrônoma: Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 26, n. 2, p. 123-131, 2017.

ALVAREZ, V. H.; FONSECA, D. M. Determinação de doses de fosforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 14, p. 49-55, 1990.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de Ácidos Orgânicos e Húmicos em Latossolos e Adsorção de Fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6: p. 1003-1011, 2003.

Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA – SDA CGAL, 2009. 398p.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; DOS SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A.; CURTI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em

casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 557-565, 2001.

CASTRO, L. R.; Reis, T. C.; Júnior, O. F.; Almeida, R. B. S.; Alves, D. S. Doses e formas de aplicação de fósforo na cultura do milho. **Revista Agrarian**, v.9, n.31, p.47 - 54, Dourados, 2016.

CHAVES, L. H. G.; Chaves, I. B.; Nascimento, A. K. S.; Sousa, A. E. C. Características de adsorção de fósforo em argissolos, plintossolo e cambissolos do estado da Paraíba. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 130-139, 2009.

EL LBOUDI, A. E.; EL SEBAAY, S.A.; EL ETR WAFAA, M. T.; ABD ELRAHMAN SHIMAA, H.; MORSY HEBA, Y. A. Silicon Adsorption on Clay Soils Affect by Silicon and Phosphorus Addition Using Freundlich Adsorption Model. **Journal of Soil and Water Science**, v. 6, p. 262 – 271, 2022.

EPSTEIN, E. A anomalia do silício na biologia vegetal. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

FOX, R. L.; SILVA, J. A.; YOUNGE, O. R.; PLUNKNETT, D. L.; SHERMAN, G. D. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. **Soil Science Society of America Journal**, v.31, p. 775-779, 1967.

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Silicon on the mineral nutrition and aluminum accumulation in upland rice plants. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 440-448, 2015.

GHOSH, A.; BISWAS, D. R.; DAS, S.; DAS, T. K.; BHATTACHARYYA, R.; ALAM, K.; RAHMAN, M. M. Rice straw incorporation mobilizes inorganic soil phosphorus by reorienting hysteresis effect under varying hydrothermal regimes in a humid tropical Inceptisol Soil & Tillage Research., v. 225, p. 1 a 11, 2023.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

GONÇALVES, J. L. M.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C.L.; RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em

não-lábil, em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 13-24, 1989.

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* (JE Smith), (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plant, and animals. **Advances in Agronomy**, v. 19, p. 107-149, 1967.

Klotzbücher, T.; Treptow, C.; Kaiser, K.; Klotzbücher, A.; Mikutta, R. Sorption competition with natural organic matter as mechanism controlling silicon mobility in soil. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1–11, 2020.

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

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, v. 1, p. 101-106. 1999.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Justus Perthes, Gotha. 1928

LIMA, J. C.; NASCIMENTO, M. N.; JESUS, R. S.; SILVA, A. L.; SANTOS, A. R.; OLIVEIRA, U. C. Crescimento inicial e diagnose nutricional de plantas de milho cultivadas com omissão de macronutrientes em argissolo. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 567–571, 2020.

LIMA, R. L. F. A. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.03, p. 1062-1079, 2020.

LIMA FILHO, O. F. **História e uso do silicato de sódio na agricultura**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112 p.

MARCHIORO, S. T.; FERNANDES, A. P.; POMARI, A. C. P.; SEBEN, M. F. Mortalidade e Canibalismo de Spodoptera frugiperda em Milho Tratado com Silício. **Cadernos de Agroecologia**, v. 14, n. 1, 2019.

MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal of the American Society of Sugarcane Technologists**, v. 22, p. 21-30, 2002.

MIRANDA, L.; SILVA, P.; MORAES, T.R.; SANTOS, J. R. E.; CARVALHO, F. D.; VIANA, L.; PARDO J; MALUF, R. P. Aplicação de silício na cultura do milho. **Revista Ciência Agroambientais**, v. 14, n. 2, p. 1- 16, 2018

MUNARO, M. F.; SIMONETTI, A. P. M. M. Aplicação foliar de silício no milho 2 a safra: Influência na produtividade. **Revista Cultivando o Saber**, v. 9, n. 4, p. 559-568, 2016.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. S. Distribuição de P no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 877-888, 2011.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; BOTELHO, D. M. D. S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 323-331, 2015.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e do calcário na disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1199-1204, 2001.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Respostas de defesa sistêmica induzidas por silício em azevém perene contra infecção por *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, v. 105, n. 6, p. 748-757, 2015.

VILLAS BÔAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; GODOY, L. J. G.; FERNANDES, D, M. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 263-272, 2005.

VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.; SANTOS, J. A. F.; ARANTES, S. A. C. M.

Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2021.