

BRUNA VALOTO

USO DE FONTES DE FÓSFORO E SILÍCIO EM ARROZ INUNDADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
(CIP) Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

V199u Valoto, Bruna, 1994-
2021 Uso de fontes de fósforo e silício em arroz inundado [recurso eletrônico] / Bruna Valoto. - 2021.

Orientador: Hamilton Seron Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.8007>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Pereira, Hamilton Seron, 1968-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário - CRB-6/3408

BRUNA VALOTO

USO DE FONTES DE FÓSFORO E SILÍCIO EM ARROZ INUNDADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 25 de Agosto de 2021.

Dr. Bruno Nicchio

UFU

Dr. Araújo Hulmann Batista

UFU

Dr. Milton Ferreira de Moraes

UFMT

Dr. Hamilton Seron Pereira

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 011/2021, PPGAGRO				
Data:	Vinte e cinco de agosto de dois mil e vinte um	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:00
Matrícula do Discente:	11912AGR004				
Nome do Discente:	Bruna Valoto				
Título do Trabalho:	Interação de fontes de fósforo e silício em arroz inundado				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Araújo Hulmann Batista - UFU; Bruno Nicchio - Pesquisador; Milton Ferreira de Moraes - UFMT; Hamilton Seron Pereira - UFU orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Hamilton Seron Pereira, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Hamilton Seron Pereira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/08/2021, às 12:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Araína Hulmann Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/08/2021, às 12:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Nicchio, Usuário Externo**, em 25/08/2021, às 12:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Milton Ferreira de Moraes, Usuário Externo**, em 03/09/2021, às 09:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2951399** e o código CRC **D0643B36**.

À minha família

Ao meu noivo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao professor Hamilton Seron Pereira, pela orientação, paciência, dedicação, por compartilhar seu conhecimento e pela compreensão e apoio nos diversos momentos durante a pós graduação.

Ao doutor Bruno Nicchio, pelo apoio com as análises estatísticas e na escrita.

Aos membros da banca, Araújo, Milton e Bruno, por aceitarem o convite.

À graduanda Laura Martins, pelo apoio na execução dos experimentos e análises.

Ao técnico de laboratório João Jorge, pela paciência e apoio no laboratório.

Ao meu gestor Edmir, pela compreensão e pelo apoio oferecido.

Aos meus pais, Eli e Elis, pelo cuidado, apoio e por não medirem esforços para garantir minha educação.

À minha irmã, Vanessa, pela amizade e apoio.

À minha amiga Laís, pela amizade e estar sempre presente, mesmo longe.

Ao meu noivo João Henrique, por sempre estar presente me apoiando em tudo que preciso e pelo companheirismo.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso!

Não se apavore nem desanime, pois o Senhor,

o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

Josué 1:9

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Hipóteses	2
1.2. Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Fósforo na agricultura.....	3
2.2. Fósforo no solo e na planta.....	4
2.3. Eficiência de fontes de fósforo	5
2.4. Silício e seu uso com o fosfato	7
2.5. Importância ambiental do uso do silício.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1. Solo Arenoso	13
4.1.1. Primeiro e Segundo Cultivo	13
4.2. Solo Argiloso	36
4.2.1. Primeiro e Segundo Cultivo	36
5. CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61

RESUMO

VALOTO, BRUNA. **Uso de fontes de fósforo e silício em arroz inundado**. 2021. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Os solos do Cerrado brasileiro são caracterizados por possuírem baixa fertilidade natural, baixa disponibilidade de fósforo, além da alta capacidade de fixação de P, ocasionada pelos altos teores de óxidos de ferro e alumínio, sendo o P um dos nutrientes que mais limitam a produtividade das culturas. Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência agrônômica de fontes de Fosfato Monoamônico (MAP) com e sem enxofre e sua combinação com uma fonte de Si em plantas de arroz inundado cultivadas em solos de texturas - arenosa e argilosa - em condições de casa-de-vegetação. O delineamento utilizado foi o de blocos causalizados (DBC) em esquema fatorial triplo (3x2x2+2) com quatro repetições. O esquema fatorial consistiu-se no uso de três doses de P₂O₅ (50, 100 e 150 kg ha⁻¹) x duas fontes de MAP - com e sem enxofre (MAP comum e MAP+S) - x com ou sem Si + dois adicionais, sendo uma testemunha com e outra sem Si (ambas sem P₂O₅) realizados dois cultivos de arroz, a fim de avaliar o efeito residual das fontes. O aumento das doses, independente da fonte fosfatada utilizada, foi eficiente em aumentar a produção de massa seca de parte aérea (MSPA), os teores de P nas plantas, o acúmulo de P e Si, assim como houve aumento dos teores de P no solo, no primeiro e segundo cultivo, em ambos os solos, arenoso e argiloso. A utilização da adubação silicatada aumentou a eficiência das fontes fosfatadas, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, em ambos os solos, arenoso e argiloso. Também, na média entre os tratamentos com e sem silício, houve aumento do silício nas plantas.

Palavras-chave: adubação fosfatada; silicato e efeito residual.

¹Orientador: Hamilton Seron Pereira – UFU

ABSTRACT

VALOTO, BRUNA. **Use of phosphorus and silicon sources in flooded rice.** 2021. 68p. Dissertation (Master Program Agronomy/Soil) Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

Brazilian Cerrado soils are characterized by low natural fertility, low phosphorus availability, in addition to high P correction capacity, caused by high levels of iron and aluminum oxides, with P being one of the nutrients that most limit crop productivity. The aim of the present study was to evaluate the agronomic efficiency of MAP sources with and without sulfur and their combination with a source of Si in cultivated flooded rice plants in soils of different sandy and clayey textures under greenhouse conditions. The experimental design used was randomized blocks (DBC) in a triple factorial scheme (3x2x2+2) with four replications. The factorial design consisted of the use of three doses of P₂O₅ (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹) x two sources of MAP with and without sulfur (common MAP and MAP + S) x with or without Si + two additional ones, being a control with and another without Si (both without P₂O₅) and two rice crops were carried through, in order to evaluate the residual effect of the sources. It was observed that the increase in doses, regardless of the phosphate source used, was efficient in increasing the production of MSPA, the P contents in the plants, the accumulation of P and Si, as well as the P contents in the soil, in the first and second crop, in both sandy and clayey soils. The use of silicon fertilization increased the efficiency of phosphate sources, both in the first and in the second cultivation, in both sandy and clayey soils. Also, in the average between treatments with and without silicon, there was an increase in silicon in the plants.

Keywords: phosphate fertilization; silicon and residual effect.

¹ Adviser: Hamilton Seron Pereira – UFU.

1. INTRODUÇÃO

Os solos do Cerrado brasileiro são caracterizados por possuírem baixa fertilidade natural, baixa disponibilidade de fósforo (P) aliada à alta capacidade de fixação de P, ocasionada pelos altos teores de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), sendo o P um dos nutrientes que mais limitam a produtividade das culturas (VALLE, 2016). É um dos elementos mais importantes para as plantas, classificado como um macronutriente primário para o crescimento e desenvolvimento da maior parte das culturas. Com isso, a aplicação de fertilizantes fosfatados em solos brasileiros torna-se alta, sendo que em 2020 foram aplicados cerca de 33 milhões de toneladas de fertilizantes NPK no Brasil (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA, 2021).

Embora o P seja aplicado em grandes quantidades no solo, apenas uma pequena parte é absorvido e aproveitado pelas plantas, uma grande parcela do nutriente forma compostos menos solúveis no solo (KORNDÖRFER, 2009). Isso ocorre devido à sua interação com minerais oxídicos presentes em altas quantidades na fração argila dos solos tropicais, ficando adsorvidos com alta energia de ligação aos oxihidróxidos de Fe e Al, formando ligações químicas com Ca, Fe e Al e também são encontrados em argilas silicatadas de baixa movimentação (RAIJ, B van, 2011). Com isso, a utilização de fontes que possuem uma boa solubilidade às plantas torna-se necessária.

Durante o processo de fabricação dos adubos fosfatados é gerado em grande quantidade um subproduto denominado ácido hexafluorsilícico (H_2SiF_6), isso ocorre quando as rochas fosfáticas são processadas com ácido fosfórico ou sulfúrico (VALLE, 2016) e quando o H_2SiF_6 é neutralizado com óxido de cálcio (cal virgem – CaO) é obtido um outro subproduto chamado de Basica. Dentre os nutrientes que compõe o Basica tem-se o Silício (Si), Cálcio (Ca), Fósforo (P) e Flúor (F). Neste contexto, este pode ser um produto para potencial uso na agricultura, visto que já são conhecidos vários benefícios do uso de Si para diversas culturas acumuladoras, como o arroz, trigo e cana.

O Si no solo é um elemento encontrado na forma de óxidos (SiO_2), formando silicatos quando combinado com Al, Mg, Fe, Ca, Na e K (DECHEN et al., 2007). O uso do Si pode corrigir pH do solo e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do P aplicado, principalmente em solos mais ácidos, devido a capacidade do Si competir pelos mesmos sítios de adsorção de fosfato no solo, podendo então competir com o P pelos óxidos de Fe e Al, aumentando sua disponibilidade às plantas (ÁVILA, 2016).

Embora não seja um elemento essencial para as plantas o Si é considerado benéfico para diversas culturas, principalmente às gramíneas, consideradas plantas acumuladoras de Si. Dentre outros benefícios do seu uso, está a melhora na capacidade fotossintética, tolerância à geada, arquitetura da planta, tolerância ao estresse hídrico e resistência ao ataque pragas e doenças (KORNDOFER; GRISOTO; VENDRAMIM, 2011).

1.1. Hipóteses

O uso de Si associado à adubação fosfatada diminui a adsorção de P pelos minerais oxídicos, uma vez que o Si compete com o nutriente pelos menos sítios de adsorção.

O Si, assim como o P, apresenta adsorção no solo, onde a competição pelos sítios de adsorção pode aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados; também elevar os teores de Si nas plantas, melhorando sua qualidade, em razão dos benefícios que este elemento proporciona.

1.2. Objetivos

Avaliar a eficiência agrônômica de fontes de P (MAP e MAP+S) e sua combinação com fonte de Si (Basica) na produção de massa seca e teor do nutriente em plantas de arroz em sistema inundado, cultivadas em solos de diferentes texturas em condições de casa-de-vegetação.

Avaliar a eficiência de fontes de MAP com e sem enxofre (MAP e MAP+S) e sua combinação com fonte de Si (Basica) na disponibilização de P e Si no solo e seu efeito residual.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fósforo na agricultura

De acordo com dados da FAO, a estimativa da população mundial no ano de 2021 é de 7,8 bilhões de habitantes e tem perspectiva de atingir cerca de 10 bilhões em 2050, ou seja, um aumento de 22%. A projeção é de que para suprir a necessidade de consumo alimentar no mundo a produção de alimentos terá que aumentar cerca de 70% (Food and Agriculture Organization - FAO, 2009). O P é um elemento extraído de rochas fosfáticas, finitas e não-renováveis, e tem se tornando cada vez mais escasso (ROSEMARIN; EKANE, 2016), cerca de 70% é perdido ao ambiente desde sua extração até chegar ao consumidor final (SCHRODER et al., 2010).

O Brasil não possui fontes naturais suficientes para atender a necessidade de consumo interna de P, sendo um dos principais produtos importados, tendo como principal origem a Rússia (GLOBALFERT, 2021). No primeiro semestre de 2021, o Brasil bateu recorde na importação de fertilizantes, tendo alcançado o número de 14,1 milhões de toneladas, superando em 14% o volume para o mesmo período do ano de 2020 (GLOBALFERT, 2021), tendo o total aplicado 33 milhões de toneladas de fertilizantes NPK no Brasil, para o mesmo ano (ANDA, 2021).

A fertilidade natural dos solos da região do Cerrado é bastante limitada, devido à baixa disponibilidade dos nutrientes Ca, Mg, K e P (CARNEIRO et al., 2006). Por isso, o manejo da adubação, a fim de suprir as necessidades das plantas (EMBRAPA, 2007). O P é um macronutriente primário essencial ao desenvolvimento e crescimento para a maioria das culturas e um dos que mais limitam a produção das culturas na região do Cerrado (ALCÂNTARA et al., 2010).

Com isso, a agricultura no Brasil torna-se altamente dependente da aplicação regular de fertilizantes minerais, decorrente da necessidade de suprir os elementos extraídos pelas plantas e repor a fertilidade dos solos (ÁVILA, 2016). Vários fatores devem ser levados em consideração visando o melhor aproveitamento dessas adubações, a fim de minimizar perdas, desde o momento da aplicação até absorção pelas plantas.

Portanto, para a maioria dos solos agricultáveis, torna-se indispensável a correta aplicação desse nutriente no solo, objetivando a produção agrícola (ÁVILA, 2016). As formas de aplicações mais utilizadas são a lanço e localizada no sulco de semeadura (VOGEL, 2014). Quando aplicado a lanço, todo o fertilizante fosfatado entra em contato com o solo, e

localizada, apenas uma parte entra em contato com a raiz (MALAVOLTA, 1981). Vogel (2014) utilizando diferentes fontes de P e duas formas de aplicação (lanço e localizada) verificou incremento na produtividade de grãos de soja, aplicando os fertilizantes na linha de semeadura, quando comparado com aplicação a lanço. Prado (2001) observou resultados semelhantes, avaliando a resposta de milho ao modo de aplicação de fertilizantes fosfatados, mostrando a superioridade da aplicação desses adubos em sulco de semeadura, minimizando os efeitos de fixação desse elemento, especialmente em solos do Cerrado, que possuem elevado grau de intemperismo.

Nesse contexto, alternativas que visem melhorar a eficiência das adubações fosfatadas têm sido cada vez mais estudadas, como a correção da acidez do solo realizada com calcário ou silicato, aplicação localizada do fertilizante, plantio direto, adubação verde, entre outras tem sido adotadas (ÁVILA, 2016).

2.2. Fósforo no solo e na planta

O ciclo natural do P é baseado na decomposição de plantas e animais que ocasionam a liberação do nutriente para o solo. Com o elevado crescimento do setor produtivo agrícola, a renovação natural de P para o solo se torna uma alternativa morosa e desfavorável do ponto de vista de balanço de massas, tornando necessária a adição de fertilizantes fosfatados (PANTANO, et al., 2016).

A correção do solo através da calagem é de fundamental importância para reduzir a adsorção de P nos solos, pois os óxidos de Fe e Al podem assumir carga positiva ou negativa em função do pH, quando ocorre uma elevação no pH as cargas positivas são neutralizadas, aumentando as cargas negativas das argilas, e a principal forma de P disponível no solo possui cargas negativas H_2PO_4^- (ion ortofosfato), com isso, ocorrerá uma redução na adsorção específica do P (GITTI; ROSCOE, 2017).

O P solo é dividido em três formas distintas: P em solução, P lábil e P não-lábil. O teor de P na solução, principalmente em solos com acidez elevada, como os do Cerrado, são muito baixos, não conseguindo suprir a necessidade das culturas, estando em equilíbrio rápido com o P lábil da fase sólida, que ocorre por meio da desadsorção e dissolução do P lábil, restabelecendo o P absorvido da solução pelas raízes das plantas (RAIJ, 1991). Então, o P liberado pelos fertilizantes passa para a solução do solo e logo após para a fase sólida, convertendo-se primeiramente em P lábil e, em seguida, a formas não-lábeis, não estando prontamente disponíveis as plantas (EMBRAPA, 2007).

Como mencionado acima, o P presente no solo é absorvido pelas plantas principalmente pela forma química - íon ortofosfato (H_2PO_4^-), na forma inorgânica (NICCHIO, 2018), com isso, o P da matéria orgânica para ficar disponível as plantas precisam passar por processos de transformação, como ação de microorganismos alterando-o para formas inorgânicas. O pH dos solos do Cerrado, fica em torno de 4,0 a 6,0, sendo este outro fator determinante nas formas químicas de P no solo.

Embora seja um macronutriente aplicado em grandes quantidades em solos brasileiros, também é um dos nutrientes essenciais menos absorvidos pelas plantas (VILAR et al., 2013). É essencial o suprimento deste na fase inicial das plantas, pois sua falta retarda o crescimento e a planta não se recupera, limitando seriamente a produção (GRANT et al., 2001).

Está envolvido em vários processos do metabolismo vegetal (NICCHIO, 2015), presente em compostos relevantes nas células vegetais, como os açúcares fosfato, intermediários da respiração e fotossíntese, assim como os fosfolípidos que compõem as membranas vegetais, também participa no metabolismo das plantas ATP, que é principal fonte de energia nos processos como a fotossíntese e divisão celular (TAIZ et al., 2017).

O crescimento e desenvolvimento de plantas submetidas a deficiência de P são reduzidos desde o estágio inicial da plântula e, dependendo da severidade, os efeitos negativos podem continuar durante o desenvolvimento de sementes e frutos (STAUFFER; SULEWSKI, 2004). O P é um elemento móvel nos tecidos das plantas por estar fortemente ligados em vários processos fisiológicos da planta, ficando concentrado em partes de crescimento mais ativo (CAIONE, 2011). A deficiência desse nutriente causa atrofia no crescimento de toda a planta, atraso na emergência das folhas, folhas malformadas de coloração verde-escura, nervura central arroxeadas e manchas necróticas em áreas de tecido morto (TAIZ et al., 2017) que podem levar a alterações no aparato fotossintético, diminuição da taxa de assimilação do CO_2 , modificações na regulação de genes relacionados à fotossíntese e fotoinibição do fotossistema II (HERNÁNDEZ; MUNNÉ-BOSCH, 2015).

2.3. Eficiência de fontes de fósforo

A eficiência para promover o crescimento e produtividade das plantas, assim como o custo da adubação, varia conforme a fonte de P utilizada, pois, além da baixa disponibilidade desse nutriente, o uso de adubos fosfatados em solos do Cerrado é dificultado devido a elevada capacidade de adsorção do P, ocasionando a transformação do P solúvel para formas não disponíveis às plantas (BÜLL et al., 1997; NAKAYAMA et al., 1998).

A principal forma de fornecer P às plantas é através dos fertilizantes fosfatados. As principais fontes de adubos fosfatados utilizadas são: os fosfatos totalmente acidulados (superfosfato simples SSP e triplo SFT), fosfatos de amônio (fosfato monoamônio MAP e diamônio DAP), os termofosfatos (fosfatos de Arad, Gafsa, (fosfatos de Araxá e Patos de Minas) (EMBRAPA, 2007). E os fosfatos naturais, que são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas, o grupo de de maior importância e mais conhecido como rocha fosfática ou natural é o fosfato de cálcio, pertencente a categoria das apatitas (HOROWITZ; MEURER, 2004).

Com relação às fontes solúveis, os fertilizantes fosfatados diferem entre si, principalmente na sua composição química, na sua solubilidade e em seu cátion acompanhante. Estas diferenças podem influenciar a taxa de solubilização dos fosfatos e as suas reações, especialmente de precipitação e adsorção química de fósforo nas regiões próximas aos grânulos ou partículas de fosfato, cuja intensidade é alta (OLIVEIRA et al., 2017).

Os superfosfatos simples e triplo e fosfatos de amônio (MAP e DAP) possuem mais de 90% do P total solúvel em citrato neutro de amônio (CNA), dissolvendo-se rapidamente no solo. São utilizados principalmente na forma de grânulos, visando facilitar o manuseio e aplicação (SOUSA; LOBATO, 2003). Oliveira et al. (2017), avaliando a absorção de P por plântulas de milho sob efeito da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados, observaram que plantas submetidas à adubação por MAP e SFT apresentaram maiores valores de P na parte aérea. Os autores concluíram que este resultado foi devido o efeito do MAP na alteração do pH ao redor de seus grânulos, o que é muito similar ao SFT.

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e flotação, visando a separação dos outros minerais que são misturados nas jazidas (HOROWITZ; MEURER, 2004). Os fosfatos brasileiros são pouco solúveis, possuem baixa reatividade, sendo utilizados como fontes alternativas de fornecimento de P para as plantas, por isso, devem ser aplicados em situações específicas visando seu melhor aproveitamento (GONÇALVES et al., 2008). Podem apresentar um bom comportamento em solos do Cerrados, visto que, por possuírem solubilização gradual, apresentam maior efeito residual em relação aos fosfatos solúveis (GUEDES et al., 2009).

Os termofosfatos são produzidos a partir de fontes pouco solúveis submetidas a processos de fusão. São fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em água, porém altamente solúvel em ácido cítrico (ALVES, 2003).

2.4. Silício e seu uso com o fosfato

São muitos os nutrientes presentes nas plantas, variando as suas proporções entre as culturas e condições dos solos. Com isso, de acordo com seus efeitos no solo e na planta, os nutrientes foram divididos em três grupos: essenciais, benéficos e tóxicos, dependendo de seus efeitos no desenvolvimento das plantas (MA et al., 2001).

O Si, depois do oxigênio (O), é o elemento mais abundante na crosta terrestre (VALLE, 2016). É considerado um elemento benéfico para diversas culturas, principalmente aquelas consideradas acumuladoras, como o arroz, cana-de-açúcar, trigo, entre outras. Proporciona melhora na arquitetura das folhas, maior tolerância ao acamamento, ao estresse hídrico e à geada, maior resistência ao ataque de pragas e doenças. Além disso, o Si ganhou notoriedade no campo dos estudos, devido a sua interação com outros nutrientes, como o P (MENEGALE et al., 2015).

Os solos brasileiros se encontram em elevado grau de intemperismo, com elevada acidez, baixa disponibilidade de nutrientes, e conseqüentemente baixa CTC (CASAGRANDE et al. 2003), aumentando assim, as cargas positivas nos colóides, visto que, as formas encontradas em maior quantidade e disponíveis de P e Si no solo, são como ânions $H_2PO_4^-$ (ácido fosfórico) e H_4SiO_4 (ácido monossilícico), respectivamente, com isso, ocorrerá uma competição entre eles pelos mesmos sítios no solo.

Várias interferências entre Si e outros íons tais como P, Al, Ca e Fe devem ocorrer em solos e modificar o comportamento do Si. Em solos ácidos, íons silicato e fosfato formam precipitados insolúveis que devem fixar vários outros cátions (óxidos de Fe e Al que tem uma capacidade marcante em fixar Si dissolvido na forma de H_4SiO_4) (VALLE, 2016).

A dinâmica do Si x P possui alguns aspectos comuns, pois, ambos são adsorvidos pelos óxidos de Fe e Al da fração argila, com isso, o Si pode deslocar o P ou vice-versa. Assim, ocorrerá maior fornecimento de P disponível para as plantas em condições diversas ao uso de fertilizantes solúveis (OLIVEIRA et al., 2007).

Gualberto (2018), pesquisando sobre a eficiência de subprodutos das indústrias como fonte de Si em arroz alagado, verificou maior disponibilidade de P em solo argiloso independente da fonte de Si utilizada, portanto, a adubação com Si promoveu menor adsorção de P, e conseqüente disponibilidade às plantas.

2.5. Importância ambiental do uso do silício

Considerando a evolução nas pesquisas de novos materiais, diversos subprodutos, como os que são gerados nas indústrias fosfáticas, apresentam alguns benefícios e podem ser utilizados na forma de adições minerais, tornando-se uma alternativa aos problemas de disposição de resíduos (SOUZA et al., 2018). Com isso, uma das maiores dificuldades para o desenvolvimento de ações de tratamento e destinação de subprodutos industriais é a ausência de técnicas de processamento e beneficiamento compatíveis à quantidade do material produzido (GUALBERTO, 2018).

Dentre os subprodutos gerados pelas indústrias, destaca-se os agregados siderúrgicos (VIDAL; PRADO, 2011). Alguns destes subprodutos contem em sua composição nutrientes como Ca, Mg e Si, sendo estes capazes de proporcionar a correção da acidez do solo, visto que os solos tropicais possuem elevada acidez (CORRÊA et al., 2007). Com isso, a utilização destes subprodutos podem ser eficientes para uso na agricultura, e conseqüentemente, minimizar o acúmulo dos resíduos gerados pelas fábricas de agregados siderúrgicos e fertilizantes fosfatados (VALLE, 2016).

A indústria de fertilizantes fosfatados é um setor que tem apresentado grande crescimento, gerando elevada quantidade de subprodutos, que após sua transformação podem apresentar potencial uso na agricultura, devido alguns elementos presentes em sua composição (GUALBERTO, 2018). Um dos subprodutos gerados em altas quantidades é durante a acidulação de fosfatos para fabricação de fontes solúveis de P, sendo este, denominado como ácido hexafluorossilícico (VALLE, 2016).

Este ácido quando neutralizado com óxido de cálcio é obtido um subproduto denominado como Basica, sendo considerado uma alternativa para uso na agricultura, pois além de ser fonte de Si, também possui em sua composição Ca e F (GUALBERTO, 2018). O Si não é considerado um elemento essencial para as plantas, mas sim benéfico, principalmente para as culturas consideradas acumuladoras, como o arroz. O F também não é um elemento essencial e não são conhecido seus efeitos benéficos, no entanto, é capaz de formar pares iônicos com o Al-F, e essas formas são menos tóxicas as culturas (AMARAL, 1997). Além de, proporcionar a competição do F pelos mesmos sítios de sorção de P no solo, minimizando a fixação do P e conseqüentemente, aumentando sua disponibilidade (VALLE et al., 2016). Já o Ca é um nutriente exigido em grandes quantidades pela maioria das culturas.

Neste contexto, a utilização dos subprodutos industriais como alternativa em outros processos produtivos tem sido cada vez mais estudadas, uma vez que o mesmo é de baixo custo e oferece diversos benefícios, como minimizar impactos ambientais, visto que estes

subprodutos são gerados em grandes quantidades, e principalmente, tornando uma ferramenta para agricultura brasileira.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Glória, Uberlândia – MG. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial triplo (3x2x2+2) com três repetições. De acordo com a Tabela 1, o esquema fatorial consistiu-se no uso de quatro doses de P₂O₅ (50, 100 e 150 kg ha⁻¹) x duas fontes de MAP - com e sem enxofre (MAP comum e MAP+S) - x com ou sem Si + dois adicionais, sendo uma testemunha com e outra sem Si (ambas sem P₂O₅).

TABELA 1. Tratamentos, doses de P₂O₅ e fontes utilizadas no solo arenoso e argiloso.

Fonte	Dose de P ₂ O ₅	Dose de Si	Dose do Basica	Dose do Fosfato
	kg ha ⁻¹			g vaso ⁻¹
Testemunha sem Si	0	0	0	0
Testemunha com Si	0	200	22,2	0
MAP	50	0	0	0,96
MAP	100	0	0	1,92
MAP	150	0	0	2,88
MAP+S	50	0	0	1,25
MAP+S	100	0	0	2,50
MAP+S	150	0	0	3,75
MAP	50	200	22,2	0,96
MAP	100	200	22,2	1,92
MAP	150	200	22,2	2,88
MAP+S	50	200	22,2	1,25
MAP+S	100	200	22,2	2,50
MAP+S	150	200	22,2	3,75

Fonte: Pereira, 2020.

As fontes de Si e P foram previamente caracterizadas em relação aos teores de Si (KORNDÖRFER et al. 2004a), Ca (EMBRAPA, 2017) e P (MURPHY; RILEY 1962), e as fontes de P quanto aos teores de P e Ca (Tabela 1).

TABELA 2. Caracterização química das fontes testadas.

Fonte	N (%)	P ₂ O ₅ (%)		Ca (%)	S (%)	Si (%)	
		Total	Solúvel*			Total	Solúvel**
Basica	---	0,2	0,15	22	---	9,1	3,6
MAP	10	52	50	---	---	---	---
MicroEssentials S9 [®]	10	40	40	---	9	---	---

* solúvel em água

** solúvel em carbonato de sódio mais nitrato de amônio

Fonte: Pereira, 2020.

As amostras do Basica foram adquiridas de uma empresa de fertilizantes situada no município de Uberaba – MG. O MAP é um fertilizante fosfatado solúvel, encontrado na forma de grânulos e possui em sua composição fósforo e nitrogênio. O MicroEssentials S9[®] (MAP+S) foi fornecido pela empresa Mosaic, situada no município de Uberaba – MG. É um fertilizante que reúne N, P e duas formas de enxofre em um único grânulo (S prontamente disponível e S elementar).

O experimento foi conduzido em dois tipos de solos sendo o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e o Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) (EMBRAPA, 2017), coletados na profundidade de 0-20 cm, sendo utilizado 10 litros de solo por vaso, dos quais as características físicas e químicas estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4. Os produtos Basica (Tabela 1), o CaCO₃ (10 g vaso⁻¹) e o MgCO₃ (3 g vaso⁻¹) foram incubados durante 30 dias nos dois solos, com umidade em torno de 80% da capacidade de campo de cada solo.

TABELA 3. Análise física dos solos utilizados no estudo.

Solos	Areia	Areia	Silte	Argila
	Grossa	Fina		
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico	90	43	33	834
RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico	626	228	1	145

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 2017).

TABELA 4. Análise química dos solos utilizados no estudo.

Solo	pH	P	Si	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	t	V	m	M.O.
	CaCl ₂	--- mg dm ⁻³	--	----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----			%		g.kg ⁻¹
LVdf	4,4	0,2	4,9	0,7	0,05	0,2	0,0	0,26	3,5	1,0	4	73	40
RQo	4,4	0,5	1,6	1	0,05	0,2	0,1	0,39	2,3	1,4	7	71	15

Si = CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por Al; M.O.

Após período de incubação, adicionaram-se os tratamentos com MAP e MAP+S (Tabela 1) aos 5 cm de profundidade do solo disposto em vasos, 200 mg kg⁻¹ de N, proveniente da fonte sulfato de amônio, 400 mg kg⁻¹ de K₂O, via cloreto de potássio (KCl) e

os micronutrientes através da fonte FTE, aplicando 50 mg kg^{-1} , contendo 9 % Zn; 7,1 % Mn; 5,7 % S; 1,8 % B; 0,8 % Cu; 0,1 % Mo, e posteriormente foi realizado o revolvimento do solo para incorporação dos fertilizantes. Em seguida, foram semeadas 12 sementes por vaso, na profundidade de 2 cm, após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, conduzindo apenas 6 plantas por vaso. Uma lâmina de água de 2 cm foi sendo acrescentada e mantida até o dia da colheita.

A cultura utilizada no estudo foi o cultivar de arroz IRGA 424 irrigado por inundação caracterizada pelo alto potencial produtivo, porte baixo, folhas pilosas e alta resposta à adubação (SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2014). Após 15 a 30 dias da semeadura (DAS), realizou-se a adubação de cobertura através da fonte sulfato de amônio para disponibilizar 100 mg kg^{-1} de N.

As plantas foram colhidas após 85 dias de cultivo (1º e 2º cultivos), com auxílio de tesouras de podas, e posteriormente levadas para estufas a 65°C e secas até peso constante. As amostras foram pesadas para obtenção da matéria seca de parte aérea (MSPA), e após pesagem, foram moídas e posteriormente submetidas a análises de Si, P, Ca e Mg. Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975), os de P por colorimetria (NOGUEIRA; SOUZA, 2005) e Si por colorimetria de acordo com metodologias descritas por KORNDORFER et al. (2004).

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de minitrados, secas e peneiradas para posteriores análises de Si, P, Ca, Mg, S e pH. Para determinar os valores de P disponível no solo foi utilizado o extrator Mehlich1, utilizando método descrito por Tedesco et al. (1995) e pH por cloreto de cálcio (CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$) (EMBRAPA, 2017).

Após realizada a colheita da parte aérea e coletadas as amostras de solo, os solos dos vasos referentes ao primeiro cultivo foram peneirados para retirar as raízes das plantas, e posteriormente, adicionado CaCO_3 e o MgCO_3 feita a homogeneização com o solo para correção da acidez, em seguida, o cultivar IRGA 424 foi semeada novamente, conduzindo outro ciclo da cultura, da mesma maneira que o anterior, para avaliar o efeito residual dos produtos.

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014), para comparação das médias utilizando o Teste de Tukey (0,05 de significância) e análise de regressão para a variável dose. Cada tratamento foi comparado com as testemunhas (adicional com e sem Si) pelo Teste de Dunnet (0,05 de significância) utilizando o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Solo Arenoso

4.1.1. Primeiro e Segundo Cultivo

Para massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de arroz cultivadas em solo arenoso em primeiro cultivo, os resultados não apresentaram interação significativa sobre uso de fosfatos com ou sem Si, e esses resultados estão de acordo com trabalho realizado por Maud et al. (2003), que avaliou o efeito de doses de N (ureia) e doses crescentes de Si. Os autores também não verificaram alterações significativas na produção de matéria seca em plantas de arroz. Além de não ser considerado um elemento essencial às plantas, o Si é um nutriente que promove alguns benefícios, principalmente às plantas acumuladoras, como o arroz e a cana-de-açúcar, dentre os benefícios estão o aumento na produtividade, melhora a arquitetura das plantas, aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças.

Por outro lado, todos os tratamentos foram superiores em relação as testemunhas, que não receberam adubação com P_2O_5 (Tabela 5), demonstrando a eficiência da adubação fosfatada em incrementar a MSPA de plantas de arroz independente da fonte.

No segundo cultivo, a produção de MSPA foi 93% menor comparando-se com o primeiro, valor já esperado, visto que nesse cultivo não foi adicionado MAP e MAP+S, aplicou-se apenas $CaCO_3$ e o $MgCO_3$, visando a correção do solo. Em relação a interação entre as fontes, doses aplicadas e presença ou não de Si, não houve diferença significativa entre esses fatores, mostrando assim que o MAP+S não se sobressaiu em relação ao MAP, por outro lado, o uso do MAP+S na dose 150 kg ha⁻¹ promoveu incremento de 82% e 93%, com valores de 18,48 e 18,10 g vaso⁻¹, respectivamente, em comparação com as testemunhas (Tabela 5).

Em estudo realizado por Oliveira et al. (2017) pesquisando sobre a aplicação localizada de diferentes adubos fosfatados em plântulas de milho, observou que não houve diferença entre as fontes testadas, porém, comparando com a testemunha verificou um aumento de 76% na produção de MSPA.

TABELA 5. Médias de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
MSPA (g vaso ⁻¹)				
Controle	Com	52,2		
	Sem	29,6		
50	Com	115,5*+	134,7*+	125,1 a
	Sem	118,7*+	127,5*+	123,0 a
100	Com	152,0*+	147,2*+	149,6 a
	Sem	149,7*+	136,2*+	143,0 a
150	Com	146,2*+	140,0*+	143,1 a
	Sem	144,7*+	159,0*+	151,8 a
Médias		137,8 A	140,7 A	
2º cultivo				
Controle	Com	3,4		
	Sem	1,3		
50	Com	3,15	7,39	5,27 a
	Sem	1,78	2,78	2,28 b
100	Com	8,98	11,39+	10,18 a
	Sem	10,18	6,53	8,36 b
150	Com	11,50+	18,48*+	14,99 a
	Sem	12,65+	18,10*+	15,37 a
Médias		8,04 A	10,78 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo: 12, CV(%) 2º cultivo: 55. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Assim como nos resultados apresentados neste estudo, Nicchio (2018) observou que a aplicação de P, independente da fonte utilizada, além de aumentar a produção de MSPA, também ocasionou maior altura de plantas e diâmetro de colmos em cana-de-açúcar. Outro resultado semelhante, foi verificado por Teixeira et al. (2018), estudando a aplicação de doses de P e N em diferentes cortes, na produtividade de matéria seca da *Brachiaria híbrida*, onde o aumento de doses de P promoveu maiores produções de MSPA, com diferença de 41% em relação ao controle sem adubação fosfatada. Esses resultados comprovam que a adubação fosfatada é essencial para crescimento e desenvolvimento para as culturas. Guedes et al. (2009) avaliando o crescimento da *Brachiaria brizanta* cv Marandu e a eficiência agrônômica do fosfato natural Arad, com e sem calagem, verificaram incrementos na MSPA com o aumento de doses de P, independente da calagem ou não.

Nos tratamentos onde foram aplicados a adubação silicatada atingiu-se o maior acréscimo na produção de MSPA na dose 113 kg ha⁻¹ de P₂O₅, já nos tratamentos que não receberam Si esse ponto máximo foi na dose 121 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 1). O Si promoveu a melhoria na eficiência do uso de P, essa diferença pode ter sido influenciada devido a capacidade do Si e P competirem pelos mesmos sítios de adsorção (SANDIM et al., 2014).

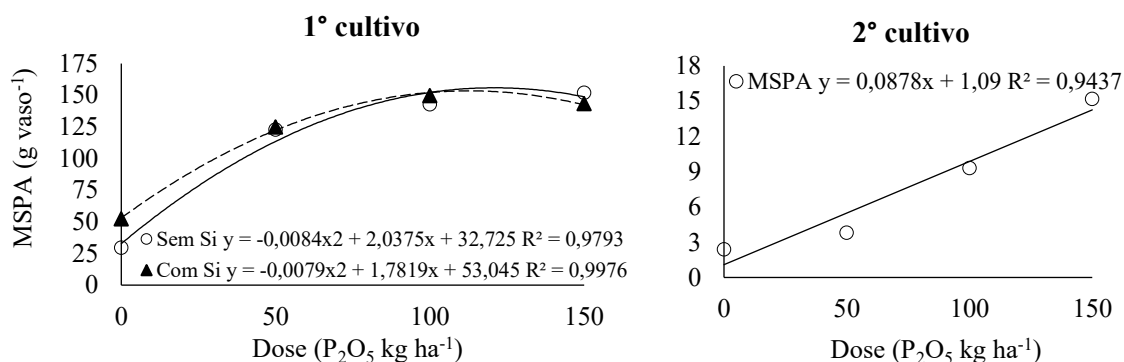


FIGURA 1. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ com e sem Si na MSPA de plantas de arroz cultivadas em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso.

Para doses de P, comparando o primeiro e segundo corte, observa-se que o primeiro proporcionou maiores produções de MSPA. Comportamento semelhante foi observado por Teixeira et al. (2018), estudando quando avaliou a produção de MSPA de três cortes consecutivos de *Brachiaria hybrida*, observou decréscimo a cada corte realizado. Porém, verificando isoladamente o efeito do aumento das doses de P₂O₅ antes em segundo cultivo de arroz alagado em solo arenoso (Figura 1), houve provável efeito residual do P aplicado no primeiro cultivo, ou seja, o aumento das doses de P₂O₅ foram eficientes no incremento de MSPA de arroz no segundo corte, mesmo com uma produção de 93% menor, comparando-se com o primeiro.

Para o teor de P é possível observar uma interação significativa entre as diferentes fontes de P₂O₅ utilizadas com e sem Si (Tabela 6), o tratamento onde foi utilizado o MAP+S como fonte e com a adubação silicatada, apresentou teor de 2,52 g kg⁻¹, sendo um incremento de 28% de P nas plantas em relação ao MAP.

De modo geral, quase todos os tratamentos foram eficientes em aumentar o teor de P nas plantas (Tabela 6), exceto aqueles onde não foram aplicados Si e receberam apenas 50 kg ha⁻¹ P₂O₅, se diferenciando de ambas testemunhas, o que já era esperado devido ser uma dose muito baixa de P₂O₅ e não ter a presença de silício para auxiliar na disponibilização de P.

Já para teor de Si, todos os tratamentos apresentaram resultados inferiores em relação a testemunha com adubação silicatada (Tabela 6), mas de modo geral nos tratamentos onde foram aplicados Si os resultados foram superiores. Tal fato pode ser explicado devido ao arroz ser uma cultura bastante responsiva à adubação com Si, prática que vem sendo utilizada em várias regiões do mundo (RAMOS et al., 2008). Esse resultado pode ser explicado pelo efeito diluição entre os tratamentos, pois a produção de MSPA se apresentou bem menor nas testemunhas (Tabela 5). As fontes MAP e MAP+S não diferiram significativamente, para teor foliar de P e Si, no segundo cultivo, também não houve diferença entre a presença ou não de Si no solo (Tabela 14), porém, para teor de P na planta, os tratamentos que receberam 100 kg ha⁻¹ de MAP com Si (0,80 g kg⁻¹) e 150 kg ha⁻¹ de MAP+S sem Si (0,80 g kg⁻¹) se diferiram da testemunha que não recebeu adubação com Si, mostrando teores superiores.

No entanto, no primeiro cultivo (Tabela 6), os teores foliares ficaram dentro da faixa considerada de referência para P (2 a 3 g kg⁻¹) nos tratamentos onde receberam a dose de 150 kg ha⁻¹ P₂O₅, segundo CQFS RS/SC (2004), porém esse comportamento não foi observado para o segundo cultivo, onde esses teores ficaram entre 0,52 e 0,80 g kg⁻¹, que são considerados abaixo do nível ideal para as plantas.

De modo geral, para teor de Si nas plantas, todos os tratamentos foram inferiores as testemunhas, mas apenas o tratamento sem Si e na dose de 100 kg ha⁻¹ de MAP (10,63 g kg⁻¹) se diferiu da testemunha com Si, apresentando resultado inferior, o que já era esperado, visto que nesta parcela não foi aplicada adubação silicatada (Tabela 6).

TABELA 6. Teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
P planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	1,0		
	Sem	0,9		
50	Com	1,38	1,76*+	1,57 a
	Sem	1,41	1,41	1,44 a
100	Com	1,65*+	2,69*+	2,17 a
	Sem	1,68*+	1,78*+	1,73 a
150	Com	2,37*+	3,11*+	2,74 a
	Sem	2,21*+	2,33*+	2,27 a
Médias	Com	1,80 b	2,52 a	2,16
	Sem	1,80 b	1,82 b	1,81
	Total	1,80 A	2,17 A	
Si planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	15,8		
	Sem	10,1		
50	Com	9,12+	8,12+	8,62 a
	Sem	10,63+	5,70+	8,16 a
100	Com	7,68+	8,66+	8,17 a
	Sem	5,56+	5,62+	5,59 b
150	Com	8,76+	8,61+	8,68 a
	Sem	6,10+	6,16+	8,16 a
Médias	Com	8,52+	8,46+	8,49 a
	Sem	7,43+	5,83+	6,63 b
	Total	7,97 A	7,14 A	
2º cultivo				
P planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	0,5		
	Sem	0,3		
50	Com	0,44	0,63	0,53 a
	Sem	0,32	0,71	0,52 a
100	Com	0,80+	0,48	0,64 a
	Sem	0,53	0,53	0,53 a
150	Com	0,52	0,71	0,62 a
	Sem	0,56	0,80+	0,68 a
Médias	Com	0,6	0,6	0,6 a
	Sem	0,4	0,6	0,6 a
	Total	0,53 A	0,64 A	
Si planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	15,7		
	Sem	10,1		

Continua

TABELA 6. Teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

50	Com	9,12	8,12	8,62 a
	Sem	10,63*	5,70	8,16 a
100	Com	7,68	8,66	8,17 a
	Sem	5,56	5,62	5,59 a
150	Com	8,61	8,76	8,68 a
	Sem	6,10	6,16	6,13 a
Médias	Com	8,5	8,4	8,4 a
	Sem	9,8	6,9	6,6 a
	Total	7,97 A	7,14 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo P planta: 12; CV(%) 2º cultivo Si planta: 36, CV(%) P planta: 41,1; CV(%) Si planta: 36. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

O teor de P foliar foi influenciado positivamente pelo aumento das doses de P₂O₅, no segundo cultivo de arroz, independente da fonte utilizada, observando-se acréscimos lineares (Figura 2). Em estudo realizado por Gazola et al. (2013) também verificaram efeito semelhante com o aumento das doses na segunda safra de milho. Dessa forma, podemos observar que as doses aplicadas no primeiro cultivo não são suficientes para suprir os teores foliares desse nutriente pela cultura de arroz para um cultivo subsequente.

Observa-se que o aumento das doses de P₂O₅ promoveu decréscimos lineares nos teores de Si foliar (Figura 2). Houve um possível efeito diluição, visto que a MSPA nesses tratamentos foi cerca de 6 vezes menor em relação aos tratamentos que receberam doses de 0 kg ha⁻¹ P₂O₅ (Tabela 5) independente da fonte utilizada e presença ou não de Si, os resultados das testemunhas se mostraram superiores em relação aos demais. Já para os teores de P nas plantas, o aumento das doses de P, promoveu acréscimos lineares (Figura 2).

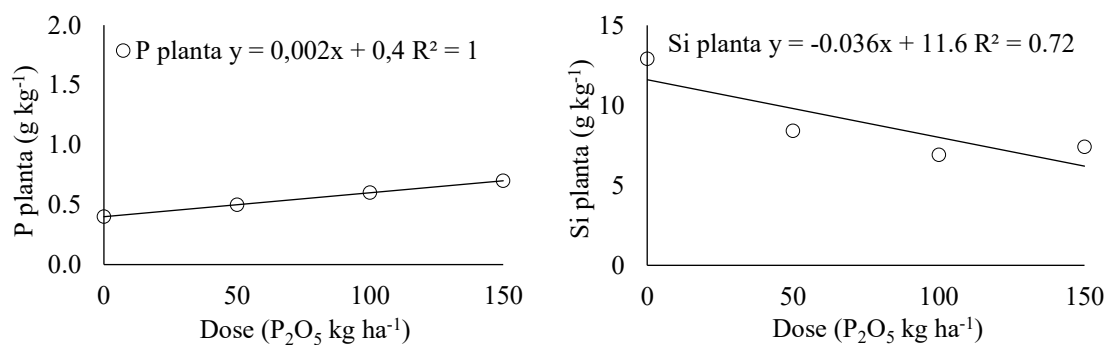


FIGURA 2. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em segundo cultivo em solo arenoso.

Em relação as fontes utilizadas, ambas apresentaram comportamentos lineares no teor de P nas plantas com o aumento das doses (Figura 3), independente da presença ou não de Si, destacando o MAP+S como fonte, que se mostrou um pouco mais eficiente em relação ao MAP, com incremento de 17% nos teores de P em plantas de arroz cultivado em solo alagado (Tabela 6).

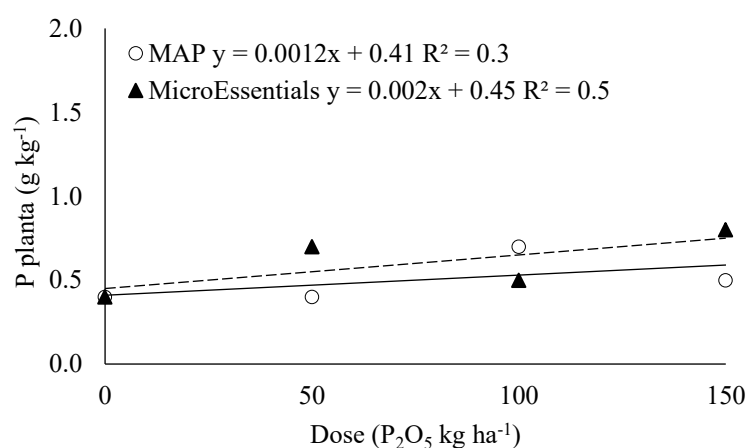


FIGURA 3. Efeito de doses crescentes e diferentes fontes de P₂O₅ nos teores de P na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em segundo cultivo em solo arenoso.

Nicchio (2018), ao avaliar o desempenho de fontes de P e S (SFT, SFT+S, SFT+Gesso, MAP+S, MAP+Gesso, FNR Reativo+S, FNR Bayóvar+Gesso, FN alta reatividade+SFT+S e FN baixa reatividade+SFT+S) em cana-de-açúcar, que a mistura dos fertilizantes fosfatados com S, promoveu incrementos na produção de MSPA. Richard et al. (2006) verificou que os teores de P em plantas de aveia foram beneficiados, quando utilizou-se o fosfato natural reativo (Youssoufia) associado com doses de S elementar, esse aumento de P no tecido foliar pode estar relacionado a influência do S na redução do pH do solo, favorecendo a solubilização do FNR.

O aumento das doses de P₂O₅ promoveu acréscimos lineares para o teor de P na planta, já para Si, esse comportamento foi quadrático, observa-se que nos tratamentos onde a dose de P foi 0 kg ha⁻¹ esse teor se apresentou maior, havendo um decréscimo, onde a dose de 111 kg ha⁻¹ foi o que obteve o menor resultado, apresentando um teor de 6,7 g kg⁻¹ de Si na planta (Figura 4).

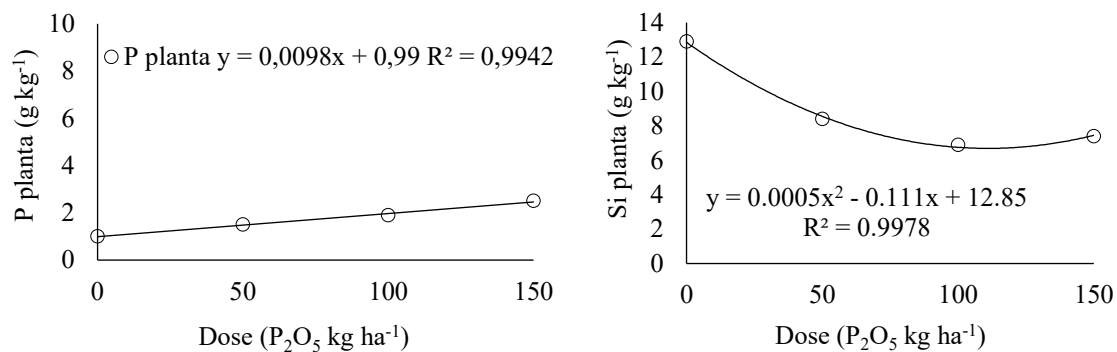


FIGURA 4. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ e nos teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em solo arenoso.

Para os teores de Ca e Mg nas plantas, não houve interação significativa entre as doses, fontes e Si (Tabela 7). Observou-se que para teor de Ca nos tratamentos nas doses 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e com adubação silicatada, esses valores foram inferiores em relação as testemunhas pelo teste de Dunnet.

Já para Mg, na dose 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sem aplicação de Si e na dose 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ independente da aplicação de Si, esses resultados foram superiores de ambas testemunhas. Corroborando com os resultados apresentados por Nicchio (2014), que também não observou diferenças significativas para teores de Ca e Mg no primeiro cultivo em plantas de milho, comparando o emprego de diferentes fontes e doses de P₂O₅ em solo de textura arenosa.

Verifica-se interação significativa entre os fatores doses, fontes e presença ou não de Si, nos teores de Ca e Mg em parte aérea de plantas de arroz em segundo cultivo (Tabela 7). De modo geral, é possível observar que os tratamentos com MAP se sobressaíram em relação ao MAP+S, principalmente nas doses 100 (9,2 g kg⁻¹) e 150 kg ha⁻¹ (10,43 g kg⁻¹).

Já para Mg, o MAP+S promoveu maiores teores de Mg em plantas de arroz nas doses 100 (4,77 g kg⁻¹) e 150 kg ha⁻¹ (4,65 e 5,13 g kg⁻¹), tanto no tratamento com Si como sem Si (Tabela 7).

TABELA 7. Teores de Ca e Mg na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Ca planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	9,1		
	Sem	8,1		
50	Com	7,7	4,9*+	6,3 a
	Sem	9,3	6,7	8,0 ab
100	Com	4,0*	5,9*	5,0 b
	Sem	9,2	7,6	8,4 a
150	Com	5,9*+	5,8*	5,9 ab
	Sem	7,5	6,6	7,1 a
Médias	Com	6,5	4,9	5,7
	Sem	8,6	7,0	7,8
	Total	7,6 A	6,0 A	
Mg planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	2,6		
	Sem	2,3		
50	Com	3,4+	3,0	3,1 c
	Sem	3,1	3,3+	3,2 c
100	Com	3,4	2,6	3,0 c
	Sem	3,9*+	4,3*+	4,1 b
150	Com	4,0*+	3,9*+	3,9 b
	Sem	4,5*+	5,1*+	4,8 a
Médias	Com	3,6	3,2	3,4
	Sem	3,8	4,2	4,0
	Total	3,7 A	3,7 A	
2º cultivo				
Ca planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	5,1		
	Sem	7,3		
50	Com	5,71* Ab	4,59*+ Aa	5,15
	Sem	6,12 Aa	6,49* Aa	6,30
100	Com	5,26* Aa	4,56*+ Aa	4,91
	Sem	9,20 Aa	6,20* Ba	7,70
150	Com	5,51* Aa	5,13* Aa	5,32
	Sem	10,43+ Aa	5,60* Ba	8,01
Médias	Com	5,5 A	4,7 A	5,1
	Sem	8,5 A	6,1 B	7,3
	Total	7,04	5,43	

Continua

TABELA 7. Teores de Ca e Mg na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Controle	Mg planta (g kg ⁻¹)			
	Com	2,4		
	Sem	2,8		
50	Com	2,98 Ba	3,58 Ab	3,28
	Sem	1,63 Bb	3,71 Ab	2,67
100	Com	4,24*+ Ba	3,96* Bb	4,10
	Sem	4,10* Bb	4,77*+ Aa	4,43
150	Com	4,39*+ Aa	4,65*+ Aa	4,52
	Sem	4,73*+ Ba	5,13*+ Aa	4,93
Médias	Com	3,8 B	4,0 A	3,9
	Sem	3,5 B	4,5 A	4,0
	Total	3,68	4,30	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1° cultivo Ca planta: 12,8; CV(%) 2° cultivo Mg planta: 9,2; CV(%) 2° cultivo Ca planta : 14,2; CV(%) 2° cultivo Mg planta: 6,7. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Para teor de Si acumulado em primeiro cultivo, praticamente todos os tratamentos se diferiram da testemunha que não recebeu Si (Tabela 8). Embora as interações não terem apresentado diferenças significativas, observando as médias dos tratamentos com e sem Si entre as fontes MAP e MAP+S, foi possível verificar que o tratamento com Si (1179,2 mg vaso⁻¹) apresentou incremento de 24% no teor de Si acumulado na parte aérea. Este aumento de Si acumulado nas plantas também foi observado por Gutierrez et al. (2011).

Para os teores de P acumulado, todos os tratamentos se diferiram das testemunhas, apresentando melhores resultados. Houve interação significativa entre as fontes de P com e sem a presença de Si, independente da dose, com isso, destaca-se o tratamento com MAP+S e com adubação silicatada (357,3 mg vaso⁻¹), que apresentou uma diferença de 29% de aumento em relação aos tratamentos que não receberam Si e onde aplicado MAP como fonte de P (Tabela 8). Tal fato, pode ser explicado devido a presença de S no MAP+S e de Ca no Basica, devido ao efeito antagônico dos ânions sulfato e silicato pelos mesmos sítios de adsorção do P. Resultados semelhantes foram observados por Carvalho (2014), estudando a interação entre P, Si e S, verificou maiores teores de P acumulado nos tratamentos que receberam gesso e silicato de Ca e Mg antecipadamente.

Broch et al. (2011), ao avaliar a influência de diferentes fontes de S sobre a produtividade da soja, verificaram aumento na produtividade nos tratamentos com formas solúveis de S, utilizando as seguintes fontes: MAP + Sulfurgran, Fosmag 509M6, Gesso

agrícola à lanço, Gesso granulado, Sulfurgran e Superfosfato simples, mostrando a eficiência das fontes em fornecer S para as plantas.

Para Si e P acumulado em plantas de arroz em segundo cultivo (Tabela 8), os resultados não se diferiram estatisticamente. Porém, para Si acumulado, apenas o tratamento na dose 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ de MAP+S e com a presença de Si se diferenciou de ambas testemunhas, apresentando resultados superiores (163,4 mg vaso⁻¹). No tratamento com a presença de Si, (87,9 mg vaso⁻¹) independente da fonte e dose aplicada de P₂O₅, observa-se que uma diferença de 38% a mais em relação ao tratamento sem Si (54,6 mg vaso⁻¹), mostrando mais uma vez a eficiência do uso da adubação silicatada em incrementar teor de Si em plantas de arroz.

Em relação a P acumulado em parte aérea, apenas o tratamento que recebeu 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ de MAP+S, independente da presença ou não da adubação silicatada, os resultados se diferenciaram positivamente de ambas testemunhas (Tabela 8). Resultados semelhantes foram observados em estudo realizado por Rossi et al. (1999), quando avaliaram o efeito residual de fertilizantes fosfatados no rendimento de MSPA e acúmulo de P em plantas de arroz, verificaram comportamentos lineares em função do aumento das doses de P aplicadas para o acúmulo de P em plantas de arroz em segundo cultivo.

TABELA 8. Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Si acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	816,4		
	Sem	292,6		
50	Com	1042,80+	1103,56+	1073,18 a
	Sem	1239,77+	723,27	981,52 a
100	Com	1168,38+	1274,61+	1221,5 a
	Sem	813,70	761,03	787,37 b
150	Com	1277,09+	1209,17+	1243,13 a
	Sem	870,50	949,84+	910,17 a
Médias	Com	1162,7	1195,7	1179,2 a
	Sem	974,6	811,3	893,0 b
	Total	1068,71 A	1003,58 A	
P acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	54,3		
	Sem	29,5		

Continua

TABELA 8. Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

50	Com	160,37*+	236,79*+	198,58 a
	Sem	166,46*+	186,38*+	176,42 a
100	Com	249,40*+	398,16*+	323,78 a
	Sem	249,83*+	243,42*+	246,63 a
150	Com	347,81*+	436,96*+	392,38 a
	Sem	338,62*+	351,47*+	345,04 a
Médias	Com	252,52 b	357,30 a	304,9
	Sem	251,63 b	260,42 b	256,0
	Total	252,08	308,86	
2º cultivo				
Si acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	55,4		
	Sem	14,4		
50	Com	27,3	60,6	43,9 a
	Sem	17,6	16,0	16,8 a
100	Com	69,2	101,0	85,1 a
	Sem	56,5	36,4	46,4 a
150	Com	106,3	163,4*+	134,8 a
	Sem	79,7	121,2+	100,4 a
Médias	Com	67,6	108,3	87,9 a
	Sem	51,3	57,9	54,6 b
	Total	59,4 A	83,1 A	
P acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	1,9		
	Sem	0,5		
50	Com	1,4	4,3	2,9 a
	Sem	0,7	2,1	1,4 a
100	Com	8,0	5,5	6,8 a
	Sem	5,8	3,4	4,6 a
150	Com	6,5	13,6*+	10,0 a
	Sem	7,1	14,2*+	10,6 a
Médias	Com	5,3	7,8	6,6 a
	Sem	4,5	6,5	5,5 a
	Total	4,9 A	7,2 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Si acum: 33; CV(%) 1º cultivo P acum: 17; CV(%) 2º cultivo Si acum: 71; CV(%) 2º cultivo P acum: 73. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

O acúmulo de Si e P na parte aérea foi significativo e se ajustou ao modelo quadrático e linear de regressão, respectivamente, em primeiro cultivo, onde o acúmulo de Si apresentou máximo de resposta na dose de 113 kg ha⁻¹ de P₂O₅, acumulando o máximo de 1100 mg vaso⁻¹ de Si. Já para teor de P acumulado, o aumento das doses promoveu acréscimos lineares de

acúmulo nas plantas com teor máximo 383 mg vaso⁻¹ na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 5).

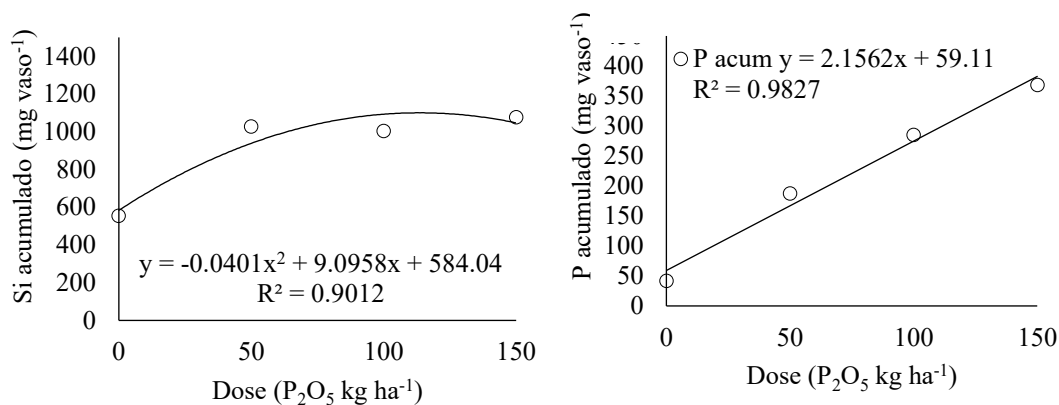


FIGURA 5. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ no acúmulo de Si e P na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em primeiro cultivo em solo arenoso.

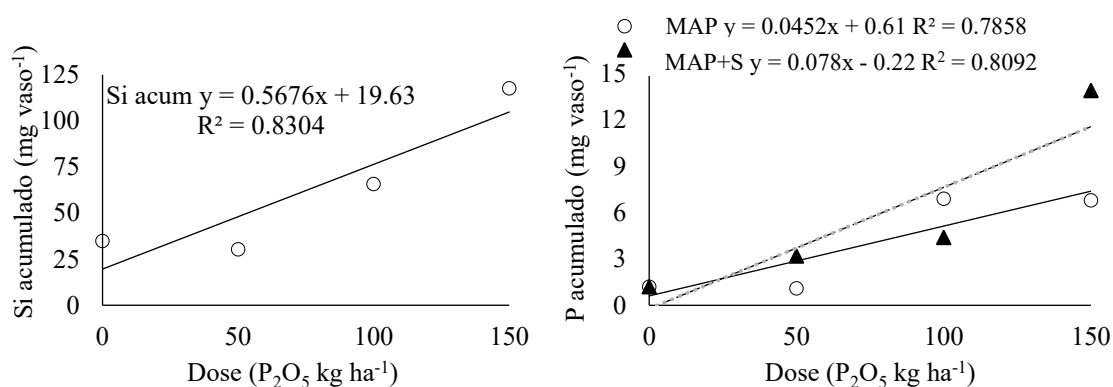


FIGURA 6. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em segundo cultivo em solo arenoso.

Foi verificado comportamentos lineares em função do aumento das doses para Si e P acumulado em parte aérea em plantas de arroz em segundo cultivo, independente da presença ou não da aplicação de Si, porém para P acumulado houve uma interação entre o aumento das doses e as fontes utilizadas (Figura6), destacando a maior eficiência do MAP+S, que acumulou mais P na planta comparando-se com o MAP.

Esses comportamentos podem estar relacionados com as alterações na disponibilidade de P para as plantas de arroz, referentes aos efeitos de competição entre os ânions de silicato e sulfato, destacando-se que o MAP+S possui em sua composição dois tipos de S (S prontamente disponível e S elementar), mas também ligados aos efeitos de retardamento

ocasionados devido a adsorção do P aos elementos competidores, como Si, S, Fe e Al (CARVALHO, 2014).

Para Ca e Mg acumulado em primeiro cultivo verifica-se que todos os tratamentos foram inferiores em relação as testemunhas (Tabela 9). Portanto, verifica-se interação significativa entre a presença ou não de Si e as fontes de P, destacando-se os tratamentos com MAP sem adubação com Si para Ca acumulado (118,62 mg vaso⁻¹) e MAP+S sem a presença de Si para Mg acumulado (60,8 mg vaso⁻¹). O contrário foi observado por Silva et al. (2003), quando avaliou a influência da presença ou não de Si em solução nutritiva na produção de MSPA de arroz, os tratamentos que receberam Ca, apresentaram maiores teores de Si.

De modo geral, os teores de Ca e Mg acumulados foram superiores em ambas testemunhas (Tabela 9). Considerando que antes da semeadura do segundo cultivo os solos foram corrigidos com CaCO₃ e o MgCO₃, esses nutrientes ficaram disponíveis as plantas

Mas para Ca apenas o tratamento MAP sem Si na dose 150 kg ha⁻¹ (136 mg vaso⁻¹) apresentou diferença significativa das testemunhas com e sem Si. Já para Mg acumulado, além do MAP sem Si na dose 150 kg ha⁻¹ (63 mg vaso⁻¹), os tratamentos MAP+S na mesma dose, com e sem Si (62,8 e 52,2 mg vaso⁻¹) se diferenciaram estatisticamente das testemunhas, apresentando melhores resultados (Tabela 9).

TABELA 9. Ca e Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Ca acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	472,4		
	Sem	237,9		
50	Com	89,21*+	65,90*+	77,55 a
	Sem	109,70*+	85,66*+	97,68 a
100	Com	87,60*+	57,78*+	72,69 a
	Sem	135,97*+	103,68*+	119,82 a
150	Com	86,95*+	80,74*+	83,85 a
	Sem	110,19*+	105,38*+	107,82 a
Médias	Com	87,92 b	68,14 b	78,03
	Sem	118,62 a	98,24 a	108,43
	Total	103,27	83,19	

Continua

TABELA 9. Ca e Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo arenoso, aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

		Mg acumulado (mg vaso⁻¹)		
Controle	Com	138,6		
	Sem	67,8		
50	Com	39,15*+	40,58*+	39,87 a
	Sem	36,45*+	43,41*+	39,93 a
100	Com	51,63*	50,24*	44,76 a
	Sem	58,66*	58,90*	58,78 a
150	Com	58,70*	55,07*	56,89 a
	Sem	65,28*	80,21*	72,74 a
Médias	Com	49,83 a	44,52 b	47,17
	Sem	53,46 a	60,84 a	57,15
	Total	51,6	52,7	
		2º cultivo		
		Ca acumulado (mg vaso⁻¹)		
Controle	Com	30,0		
	Sem	9,3		
50	Com	18,2	34,2	26,2 a
	Sem	14,2	18,2	16,2 a
100	Com	50,1	53,4	51,8 a
	Sem	93,4+	41,0	67,2 a
150	Com	62,1	100,8+	81,4 a
	Sem	136,0*+	97,3+	116,6 a
Médias	Com	43,5 A	62,8 A	53,1
	Sem	81,2 A	52,2 A	66,7
	Total	62,3	57,5	
		Mg acumulado (mg vaso⁻¹)		
Controle	Com	8,7		
	Sem	3,5		
50	Com	8,3	27,1	17,7 a
	Sem	3,8	10,4	7,1 a
100	Com	38,2	45,0	41,6
	Sem	41,0	31,9	36,4
150	Com	48,7	87,9*+	68,3 a
	Sem	63,0*+	92,8*+	77,9 a
Médias	Com	31,7	53,4	42,6 a
	Sem	35,9	45,1	
	Total	33,8 A	49,2 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Ca acum: 22; CV(%) 1º cultivo Mg acum: 20,4; CV(%) 2º cultivo Ca acum: 62,1; CV(%) 2º cultivo Mg acum: 58,8.. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Observa-se na Figura 7, que o aumento de doses de P₂O₅ promoveu aumentos lineares no acúmulo de Ca e Mg em plantas de arroz em segundo cultivo no solo arenoso. Esse comportamento pode estar relacionado pelo fato do solo ter recebido apenas Ca e Mg, com

isso as plantas extraíram esses nutrientes, visto que, a adubação fosfatada foi aplicada apenas no primeiro cultivo, observando provável efeito residual das fontes utilizadas (MAP e MAP+S).

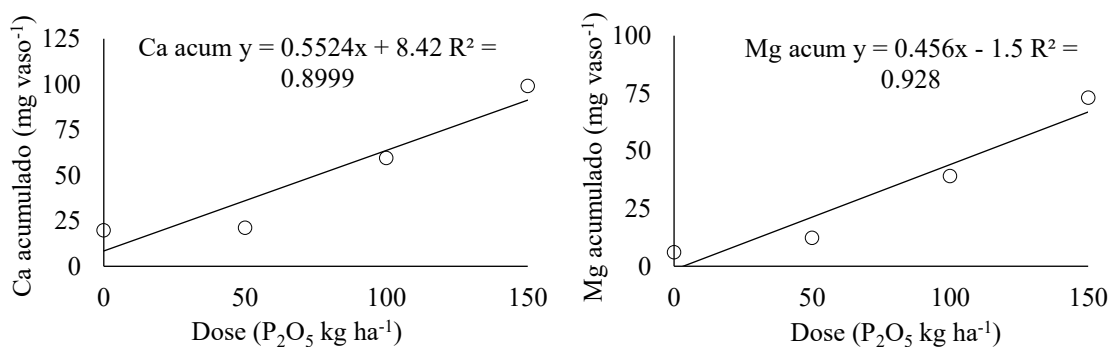


FIGURA 7. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de Ca e Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em segundo cultivo em solo arenoso.

Para os teores de Si no solo em primeiro cultivo nos tratamentos onde foram aplicadas as doses 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com aplicação de Si independente da fonte de P utilizada, os resultados foram superiores quando comparado com a testemunha sem Si, o que já era esperado (Tabela 10). Independente da fonte e dose de P aplicada, o teor de Si (1,4 mg kg⁻¹) em solo arenoso foi maior quando aplicou-se Si, o que mostra a eficiência da fonte em disponibilizar Si para o solo e, conseqüentemente, competir com o P, disponibilizando esses nutrientes para as plantas (VALLE et al., 2016). Em trabalho realizado por Gualberto (2018) e Valle (2016), os autores verificaram aumento nos teores de Si disponível no solo utilizando subproduto da indústria fosfatada, demonstrando a eficiência do uso desse produto para fornecimento de Si.

Para P no solo em primeiro cultivo, o tratamento com MAP+S na dose de 150 kg ha⁻¹ com adubação silicatada, apresentou resultado superior em relação as testemunhas, ou seja, a fonte utilizada se mostrou eficiente em fornecer P no solo, com incremento de 53% comparando com o MAP (20,83 mg kg⁻¹) (Tabela 10). O MAP+S também é fonte de S, sendo este, um macronutriente secundário, essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Vidal et al. (2011) verificaram que, com aplicação de doses de escória siderúrgica houve o aumento no teor de P no solo, demonstrando o efeito do Si na disponibilização de P no solo, corroborando com o que foi observado neste estudo com tratamento MAP+S na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com Si. Este fato pode ser explicado por duas razões: pelo poder alcalinizante dos silicatos e pela capacidade do Si e P competirem pelos mesmos sítios de adsorção no solo. É possível observar um incremento de 53% no teor de P (16,3 mg kg⁻¹) no

solo em relação ao tratamento que não recebeu Si, independente da fonte e dose de P utilizada (Tabela 10).

Conforme a tabela 10, para teores de Si solo em segundo cultivo, houve interação significativa entre as fontes utilizadas e a presença ou não de Si, foi possível verificar que o MAP apresentou resultados superiores em relação ao MAP+S, tanto nos tratamentos com Si (3,3 mg kg⁻¹) como sem Si (2,5 mg kg⁻¹), mostrando a eficiência da utilização do MAP em promover efeito residual de P, e conseqüentemente, proporcionou as interações com o Si, resultando em maior teor deste nutriente em solo arenoso.

Já para teor de P no solo, a fonte MAP+S apresentou melhores médias, se mostrando mais eficiente em disponibilizar P, com incremento de 27% em relação ao MAP (Tabela 10). Embora as interações não terem sido significativas, os tratamentos que receberam doses de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com a fonte MAP+S, independente da aplicação de Si, apresentaram resultados superiores em relação as testemunhas (10,6 e 10,2 mg kg⁻¹), o que já era esperado, devido ambas testemunhas não terem recebidos nenhuma fonte de P₂O₅.

TABELA 10. Teores de Si e P no solo de textura arenosa após o primeiro e segundo cultivo de arroz, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Si solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	1,6		
	Sem	1,0		
50	Com	1,29	1,26	1,27 a
	Sem	1,00	0,77*	0,88 a
100	Com	1,85+	1,34	1,59 a
	Sem	1,26	1,04	1,15 a
150	Com	1,31	1,80+	1,55 a
	Sem	1,09	0,99	1,04 a
Médias	Com	1,4	1,4	1,4 a
	Sem	1,1	0,9	1,2 b
	Total	1,30 A	1,19 A	
P solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	5,2		
	Sem	1,2		
50	Com	6,59	6,03	6,31 a
	Sem	4,63	5,16	4,89 a
100	Com	8,76	10,42	9,59 a
	Sem	6,02	11,27	8,64 a

Continua

TABELA 10. Teores de Si e P no solo de textura arenosa após o primeiro e segundo cultivo de arroz, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

150	Com	20,83	45,34*+	33,08 a
	Sem	7,45	11,29	9,37 a
Médias	Com	12,0	20,5	16,3 a
	Sem	6,0	9,2	7,6 b
	Total	9,04 A	14,92 A	
2º cultivo				
Si solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	3,1		
	Sem	2,9		
50	Com	3,3	1,8*	2,5 a
	Sem	2,8	1,7*	2,3 a
100	Com	3,2	1,9*	2,5 a
	Sem	1,9*	2,0	2,0 a
150	Com	3,5	1,4*+	2,5 a
	Sem	2,6	2,2	2,4 a
Médias	Com	3,3 A	1,7 B	2,5
	Sem	2,5 A	2,0 B	2,2
	Total	1,88	2,91	
P solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	3,6		
	Sem	3,3		
50	Com	6,8	3,9	5,4 a
	Sem	2,8	5,6	4,2 a
100	Com	5,9	7,4	6,6 a
	Sem	3,6	6,1	4,9 a
150	Com	6,6	10,6*+	8,6 a
	Sem	6,0	10,2*+	8,1 a
Médias	Com	6,5	7,3	6,9 a
	Sem	4,2	7,3	5,7 a
	Total	5,3 B	7,3 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Si solo: 26; CV(%) 1º cultivo P solo: 128,9; CV(%) 2º cultivo Si solo: 22,4; CV(%) 2º cultivo P solo: 43,5. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

O aumento das doses de P₂O₅ promoveu acréscimos lineares nos teores de P em solo arenoso no primeiro cultivo (Figura 8). Visto que solos de textura arenosa, tendem adsorver menos P, por serem solos mais jovens e com baixo teor de argila e, conseqüentemente, menos concentrações de hidróxidos de Fe³⁺ e Al³⁺ no solo, sendo os minerais com os quais o P tem maior afinidade (MACHADO et al., 2011). Nicchio (2015), pesquisando sobre diferentes fontes fosfatadas em solo argiloso e arenoso na cultura do milho em dois cultivos

consecutivos, observou que no primeiro cultivo, houve acréscimos no teor de P em solo arenoso, resultado semelhante ao do presente estudo.

Em segundo cultivo, o efeito do aumento das doses também influenciaram positivamente os teores de P no solo, apresentando acréscimos lineares (Figura 8), na dose 150 kg ha⁻¹ esse valor chegou a 18 mg kg⁻¹. Resultados semelhantes foram observados por Machado et al. (2011), avaliando a disponibilidade de P em solos na região do Alto Paranaíba, com diferentes texturas, em função da incubação de doses crescentes de MAP, verificou que com a maior dose aplicada houve maior teor de P disponível.

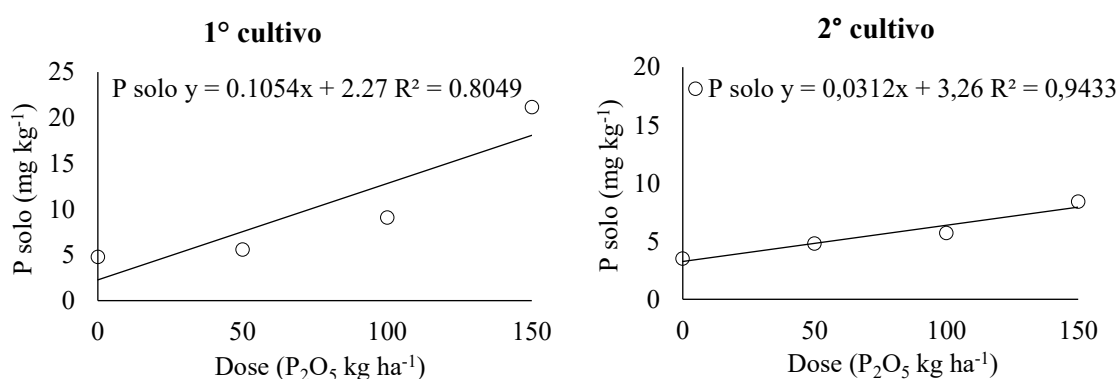


FIGURA 8. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de P em solo arenoso, em primeiro e segundo cultivo.

Comparando-se com o primeiro cultivo, os teores de P no solo foram inferiores (Figura 8), porém, é possível observar que independente da fonte e presença ou não de Si, o aumento das doses de P₂O₅ promoveu acréscimos lineares nos teores de P no solo em segundo cultivo, mostrando a eficiência do P em proporcionar efeito residual no solo. Miranda et al. (2002), verificaram efeito residual após sucessivos plantios realizados, plantando arroz no décimo primeiro cultivo do experimento, com isso, foi observado aumentos na produtividade de arroz cultivados apenas com o efeito da adubação fosfatada corretiva inicial.

Não houve diferença significativa para os teores de Ca e Mg no solo em primeiro cultivo, este resultado deve estar relacionado ao teor de Ca e Mg ter sido corrigido na instalação do experimento. Para teor de Ca no solo, apenas os tratamentos com adubação silicatada na dose 50 (2,83 mg kg⁻¹), 100 (2,61 e 2,66 mg kg⁻¹) e 150 kg ha⁻¹ (2,80 e 2,81 mg kg⁻¹) não diferiram das testemunhas. Porém, nos tratamentos onde não foram aplicados Si, os resultados foram inferiores em relação a testemunha com Si, isso pode estar relacionado devido o produto Basica ter em sua composição 22% de Ca, influenciando no teor desse nutriente no solo.

Para Mg, todos os tratamentos se diferenciaram negativamente das testemunhas com e sem Si (Tabela 11). Medeiros et al. (2008) pesquisando sobre o efeito de diferentes relações entre o Ca e Mg em corretivos de acidez na produção de MSPA de milho, verificou que os teores de Mg no solo diminuíram com o aumento da relação Ca:Mg nos corretivos, podendo haver competição entre esses nutrientes. Costa et al. (2010), ao avaliar a produção e extração de nutrientes pela fitomassa de cultivares *Brachiaria brizantha* sob doses de nitrogênio, observou aumento linear na produção de MSPA e na extração de Mg com aumento de doses de N. Nesse contexto, os menores teores de Mg no solo em relação as testemunhas apresentadas no presente estudo, pode ser devido a extração das plantas.

Verifica-se que não houve efeito significativo para teores de Ca, Mg e S no solo em segundo cultivo de plantas de arroz. Também nenhum dos tratamentos se diferenciaram das testemunhas pelo teste de Dunnet, para as variáveis Ca e S. Apenas para teor de Mg, apresentou diferenças negativas nos tratamentos nas doses de 150 kg ha⁻¹, tanto para a fonte MAP como MAP+S, não apresentando diferenças entre si (Tabela 11).

TABELA 11. Teores de Ca e Mg no solo de textura arenosa após o primeiro e segundo cultivo de arroz, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Ca solo (cmol_c dm⁻³)				
Controle	Com	3,3		
	Sem	2,4		
50	Com	2,27*	2,83	2,55 a
	Sem	2,15*	2,23*	2,19 a
100	Com	2,61	2,66	2,63 a
	Sem	1,99*	2,14*	2,06 a
150	Com	2,80	2,82	2,81 a
	Sem	2,14*	1,94*	2,04 a
Médias	Com	2,5	2,7	2,66 a
	Sem	2,0	2,1	2,10 b
	Total	2,32 A	2,44 A	
Mg solo (cmol_c dm⁻³)				
Controle	Com	0,6		
	Sem	0,7		
50	Com	0,24*+	0,27*+	0,25 a
	Sem	0,36*+	0,36*+	0,36 a
100	Com	0,23*+	0,21*+	0,22 a
	Sem	0,26*+	0,19*+	0,23 a
150	Com	0,27*+	0,19*+	0,25 a
	Sem	0,21*+	0,14*+	0,18 a
Médias	Com	0,2	0,2	0,2 a
	Sem	0,2	0,2	0,2 a
	Total	0,26 A	0,23 A	
2º cultivo				
Ca solo (cmol_c dm⁻³)				
Controle	Com	4,6		
	Sem	4,1		
50	Com	4,6	4,2	4,4 a
	Sem	4,9	3,9	4,4 a
100	Com	4,3	3,9	4,1 a
	Sem	3,8	3,6	3,7 a
150	Com	3,8	4,5	4,2 a
	Sem	3,4	3,4	3,4 a
Médias	Com	4,2	4,2	4,2 a
	Sem	4,1	3,7	3,8 a
	Total	4,1 A	3,9 A	

Continua

TABELA 11. Teores de Ca e Mg no solo de textura arenosa após o primeiro e segundo cultivo de arroz, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

		Mg solo (cmol_c dm⁻³)		
Controle	Com	0,9		
	Sem	1,1		
50	Com	0,6	0,6+	0,6 a
	Sem	1,3	0,9	1,1 a
100	Com	0,6+	0,5+	0,6 a
	Sem	0,7	0,6+	0,7 a
150	Com	0,4+	0,6+	0,5 a
	Sem	0,5*+	0,5*+	0,5 a
Médias	Com	0,6	0,6	0,6 b
	Sem	0,8	0,6	0,7 a
	Total	0,7 A	0,6 A	
		S solo (mg kg⁻¹)		
Controle	Com	0,7		
	Sem	0,6		
50	Com	0,9	1,2	1,1 a
	Sem	0,7	1,4	1,1 a
100	Com	1,2	0,7	0,9 a
	Sem	0,8	0,8	0,8 a
150	Com	0,9	1,1	1,0 a
	Sem	0,7	1,1	0,9 a
Médias	Com	1,0	1,0	1,0 a
	Sem	0,8	1,1	0,9 a
	Total	0,9 A	1,0 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Ca solo: 17,2; CV(%) 1º cultivo Mg solo: 28,3; CV(%) 2º cultivo Ca solo: 15; CV(%) 2º cultivo Mg solo: 30; CV(%) 2º cultivo S solo: 43,7. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Para os valores de pH do solo (Tabela 12), não houve interações significativas entre os tratamentos, mas todos se diferiram das testemunhas, exceto o que recebeu 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Porém, foi possível observar uma diferença entre as fontes MAP e MAP+S, onde a fonte MAP+S apresentou valor inferior (pH=5,65).

Pode-se observar que para valores pH, de modo geral, os valores foram semelhantes entre si, apenas os tratamento que receberam doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ de MAP, ambos com adubação silicatada se mostraram inferiores da testemunha com Si (Tabela 12). Os resultados não apresentaram diferenças significativas, porém foi capaz de elevar o pH do solo, que era 4,4 (Tabela 4) antes de corrigi-lo, visto que, o solo foi inicialmente corrigido, visando aumentar o pH.

TABELA 12. pH do solo de textura arenosa após o primeiro e segundo cultivo de arroz, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
pH				
Controle	Com			6,4
	Sem			6,3
50	Com	6,19	6,09*	6,14 a
	Sem	5,94*+	5,87*+	5,90 a
100	Com	5,92*+	5,85*+	5,88 a
	Sem	5,70*+	5,52*+	5,61 a
150	Com	5,98*+	5,81*+	5,89 a
	Sem	5,47*+	5,42*+	5,44 a
Médias		6,00 A	5,65 B	
2º cultivo				
pH				
Controle	Com			6,3
	Sem			5,8
50	Com	6,1	6,0	6,0 a
	Sem	6,0	5,9	6,0 a
100	Com	5,8*	6,1	5,9 a
	Sem	6,0	5,9	5,9 a
150	Com	5,7*	6,1	5,9 a
	Sem	5,9	5,8	5,8 a
Médias		5,9 A	6,0 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo: 2,4; CV(%) 2º cultivo: 4,3.. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Considerando que o MAP+S tem S em sua composição, César (2016), verificou que fertilizantes fabricados com S elementar, apresentou valores de pH inferiores em relação aos controles e o MAP valores mais elevados, comparado-o com SFT e MAP+S, provavelmente isso ocorreu devido a presença do S no MAP+S, ocasionando acidez pela oxidação do S elementar em sulfato.

Outro fator que provavelmente elevou os valores de pH em segundo cultivo, foi pelo fato do experimento ter sido conduzido em condição de solo alagado. Gonçalves et al. (2008), estudando a solubilização de fosfatos naturais em dois solos alagados, verificou que o alagamento ocasionou elevação de pH, devido as reações de oxirredução, havendo o consumo de H⁺, atingindo valores aproximados a 6,0 (semelhantes aos observados no presente estudo).

O aumento das doses promoveu decréscimos lineares nos valores de pH para solo arenoso (Figura 9). Isso pode ser explicado pelo fato que o solo foi inicialmente corrigido e incubado durante 30 dias, visando elevar o pH a 6,0, com isso, esse valor já era esperado.

Outro fato que pode ter influenciado nos valores de pH pode ter sido pela condição de alagamento, promovendo reações de oxirredução, ocasionada pelo consumo de íons H^+ .

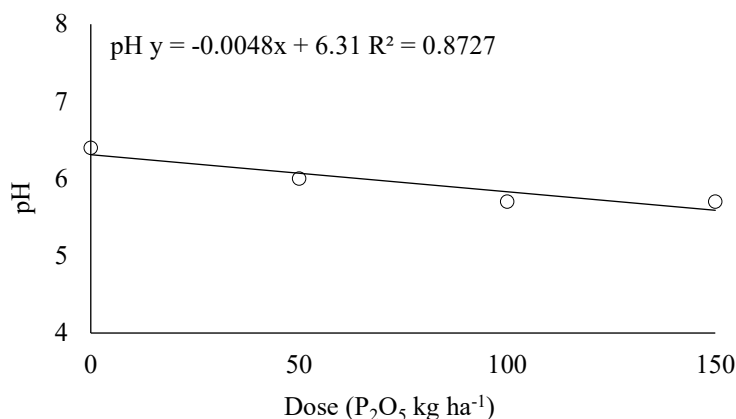


FIGURA 9. Efeito de doses crescente de P_2O_5 no pH em solo arenoso em primeiro cultivo.

Em estudo realizado por Hettiarachchi et al. (2010), verificaram também, que o pH do solo diminuiu com a aplicação de fertilizantes comparando-se com os controles, isso pode ter ocorrido devido as mudanças ocasionadas pelos elementos dos fertilizantes e devido as características dos solos utilizados, nesse caso de textura arenosa. Segundo César (2016), outro fator importante a transformação do P lábil em não lábil, ocasionado pela formação de um composto pouco solúvel do Ca com o P.

4.2. Solo Argiloso

4.2.1. Primeiro e Segundo Cultivo

Para MSPA de plantas de arroz em solo argiloso no primeiro cultivo, observa-se que as testemunhas apresentaram valores bem abaixo em relação aos tratamentos que receberam a adubação fosfatada e silicatada. A partir disto, pode-se verificar que a adubação e correção do solo foi fundamental para que as culturas expressem o máximo de produção (Tabela 13). Todos os tratamentos se diferiram de forma positiva em relação as testemunhas.

Comparando as fontes utilizadas verifica-se nas médias que o MAP+S ($99,8$ g vaso⁻¹) se destacou em relação ao MAP ($87,6$ g vaso⁻¹), apresentando um incremento de 12% na produção de MSPA. Também é possível observar que o tratamento onde foi aplicado Si ($96,8$ g vaso⁻¹), independente da dose ou fonte de P utilizada, percebe-se que houve um aumento na MSPA de 6,3% quando comparado ao tratamento sem Si ($90,5$ g vaso⁻¹).

Para MSPA em segundo cultivo em solo argiloso, observa-se que os tratamentos não se diferenciaram estatisticamente, porém apenas o tratamento com MAP sem Si e na dose 150 kg ha⁻¹ apresentou melhor resultado em relação as testemunhas (Tabela 13). Resultado semelhante foi verificado por Nicchio (2018), estudando diferentes fontes de P e S em cana-de-açúcar, verificou que a MSPA se mostrou superior em relação as testemunhas, independente da fonte utilizada. Esses resultados mostram que a aplicação do P é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

TABELA 13. Médias massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
MSPA (g vaso⁻¹)				
Controle	Com	8,6		
	Sem	8,0		
50	Com	65,2 *+	81,0 *+	73,1 a
	Sem	70,7 *+	78,1 *+	74,4 a
100	Com	97,6 *+	105,8 *+	101,7 a
	Sem	89,6 *+	97,0 *+	93,3 a
150	Com	110,3 *+	120,8 *+	115,6 a
	Sem	91,6 *+	115,9 *+	103,8 a
Médias	Com	91,1	102,6	96,8 a
	Sem	84,0	97,0	90,5 b
	Total	87,6 B	99,8 A	
2º cultivo				
MSPA (g vaso⁻¹)				
Controle	Com	1,8		
	Sem	0,9		
50	Com	5,0	3,5	4,2 a
	Sem	2,7	5,1	3,9 a
100	Com	12,1	9,2	10,6 a
	Sem	2,2	6,9	4,5 a
150	Com	15,1	15,8	15,4 a
	Sem	25,0*+	14,7	19,8 a
Médias	Com	10,7	9,5	10,1 a
	Sem	10,0	8,9	9,5 a
	Total	10,4 A	9,2 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo: 9,8; CV(%) 2º cultivo: 83,1. *Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

O aumento das doses de P, independente das fontes (MAP ou MAP+S) e presença ou não de Si, promoveu acréscimos lineares na MSPA em primeiro cultivo, com produção

máxima de 121 g vaso⁻¹ na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 10). Resultado semelhante, foi observado por Tokura et al. (2007), pesquisando sobre o efeito de diferentes doses de P e Si, em dois tipos de solo, porém verificou-se que o aumento das doses de P proporcionou ajustes quadráticos na produção de MSPA em plantas de arroz.

Em segundo cultivo a produção de MSPA foi diretamente influenciada pelo aumento das doses de P₂O₅ (Figura 10). Sandim (2016), estudando a eficiência de diferentes fontes de P, verificou acréscimos lineares na produção de MSPA, independente das fontes testadas. O mesmo foi verificado por Rossi et al. (1999), que avaliaram o efeito residual de diferentes fontes fosfatadas em plantas de arroz.

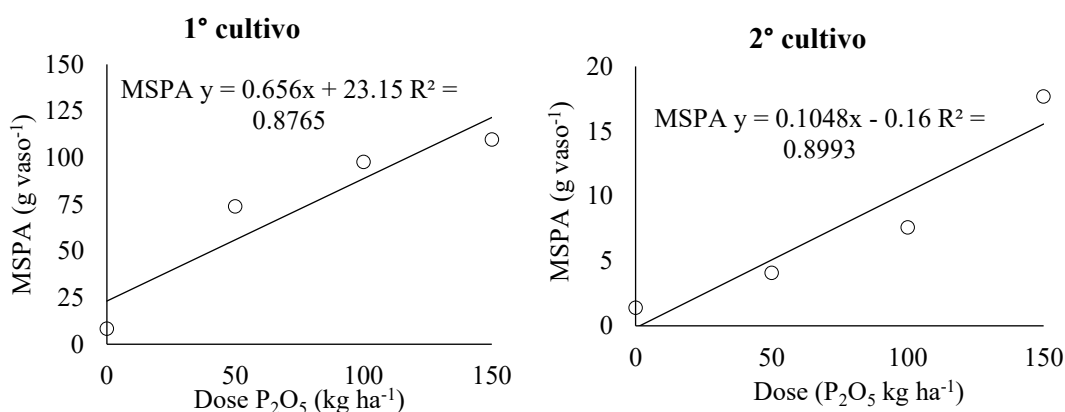


FIGURA 10. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na produção de MSPA de plantas de arroz em solo argiloso após o primeiro e segundo cultivo.

Para os teores de P nas plantas em solo argiloso, os tratamentos que receberam 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ (2,4 e 2,0 g kg⁻¹) e 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ (2,4 g kg⁻¹) ambos sem adubação silicatada, apresentaram resultados inferiores em relação as testemunhas com e sem Si, visto que, estes receberam dose 0 kg ha⁻¹ P₂O₅ para fins de comparação (Tabela 14).

Comparando as médias dos tratamentos com e sem a aplicação de Si, observa-se que o tratamento com adubação com Si independente da fonte, apresentou teor de P mais elevado (2,9 g kg⁻¹). O Basica, além de Si, possui em sua composição Ca, que pode elevar o pH do solo e de alguns nutrientes, como P, Si e Ca. Esses resultados corroboram com os obtidos por Sandim (2016), que observou maiores teores de P nas plantas em condições de solo com acidez mais corrigida.

Os teores de P em parte aérea em segundo cultivo, não se diferenciaram significativamente, mas os tratamentos nas doses 50 kg ha⁻¹ de MAP+S (0,4 g kg⁻¹) e 100 kg ha⁻¹ de MAP (0,4 g kg⁻¹) ambos com Si e todos os tratamentos na dose 150 kg ha⁻¹, com ou

sem Si e independente da fonte, se mostraram superiores em relação as testemunhas (Tabela 14). Embora esses tratamentos não tenham se diferenciado entre si, quando compara-se isoladamente as médias das parcelas com e sem Si, observa-se que com adubação silicatada ($0,5 \text{ g kg}^{-1}$) promoveu um incremento de 40% em relação ao tratamento sem Si ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$).

Embora os resultados para teores de Si nas plantas não terem apresentando diferenças significativas, todos os tratamentos se diferiram das testemunhas, apresentando valores inferiores, provavelmente devido ao efeito de diluição (Tabela 14). Segundo Maia (2005) este efeito é descrito quando a produção de MSPA é maior que a quantidade de absorção do nutriente, neste caso, a taxa de crescimento da planta foi muito baixa, com isso, ocorreu a concentração do nutriente nas testemunhas, onde a produção de MSPA foi bem menor que os demais tratamentos. Em relação as fontes utilizadas verifica-se que o MAP ($6,1 \text{ g kg}^{-1}$) ocasionou maiores teores de Si na planta, assim como nos tratamentos onde foram aplicados Si ($6,4 \text{ g kg}^{-1}$) promovendo um acréscimo de 36% em comparação sem adubação silicatada (Tabela 14).

Nos teores Si em parte aérea de plantas de arroz em segundo cultivo, houve interação significativa entre a presença ou não de adubação silicatada e as fontes testadas (Tabela 14). Observa-se que o tratamento com MAP na presença de Si (19,0 g kg⁻¹) apresentou melhores resultados em relação ao MAP+S (14,2 g kg⁻¹). Já nos tratamentos sem Si, o MAP+S (12,1 g kg⁻¹) se destacou em relação ao MAP (7,5 g kg⁻¹), com incremento de 38%. No entanto, comparando-se o tratamento com MAP (19,0 g kg⁻¹) e MAP+S (12,1 g kg⁻¹), o teor de Si é maior onde se aplicou adubação silicatada, o que já era esperado. Sávio et al. (2011), avaliando diferentes fontes de Si em gramíneas, também verificou efeito residual da aplicação de Si em *Panicum maximum* em segundo e terceiro corte, mostrando então, a capacidade de efeito residual do Si em solo argiloso.

TABELA 14. Teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo argiloso aos 85 dias após a emergência em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
P planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	1,7		
	Sem	1,8		
50	Com	2,5*+	2,7*+	2,6 a
	Sem	2,4	2,0	2,2 a
100	Com	2,9*+	3,0*+	3,0 a
	Sem	2,4	2,9*+	2,6 a
150	Com	3,1*+	3,2*+	3,2 a
	Sem	2,8*+	3,2*+	3,0 a
Médias	Com	2,8	3,0	2,9 a
	Sem	2,5	2,7	2,6 b
	Total	2,7 A	2,8 A	
Si planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	27,5		
	Sem	21,7		
50	Com	9,8*+	7,0*+	8,4
	Sem	8,5*+	4,7*+	6,6
100	Com	7,0*+	4,4*+	5,7
	Sem	3,3*+	3,1*+	3,2
150	Com	5,3*+	4,7*+	5,0
	Sem	3,0*+	2,3*+	2,6
Médias	Com	7,4	5,4	6,4 a
	Sem	4,9	3,4	4,1 b
	Total	6,1 A	4,4 B	

Continua

TABELA 14. Teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo em solo argiloso aos 85 dias após a emergência em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

2º cultivo				
		P planta (g kg⁻¹)		
Controle	Com	0,2		
	Sem	0,1		
50	Com	0,3	0,4*+	0,4 a
	Sem	0,2	0,2	0,2 a
100	Com	0,4*+	0,4	0,4 a
	Sem	0,2	0,3	0,2 a
150	Com	0,5*+	0,6*+	0,6 a
	Sem	0,4*+	0,6*+	0,5 a
Médias	Com	0,5	0,5	0,5 a
	Sem	0,3	0,4	0,3 b
	Total	0,4 A	0,4 A	
		Si planta (g kg⁻¹)		
Controle	Com	19,3		
	Sem	21,5		
50	Com	25,5	14,7	20,1 a
	Sem	11,7	10,8+	11,3 a
100	Com	13,7	14,3	14,0 a
	Sem	5,1*+	10,6+	7,8 a
150	Com	17,7	13,5	15,6 a
	Sem	5,8*+	14,9	10,3 a
Médias	Com	19,0 a	14,2 b	16,6
	Sem	7,5 b	12,1 a	9,8
	Total	13,3	13,2	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Si planta: 40,2; CV(%) 1º cultivo P planta: 15,1; CV(%) 2º cultivo Si planta: 37,9; CV(%) 2º cultivo P planta: 32,2. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

O aumento das doses de P₂O₅ para teores de P na planta em solo argiloso no primeiro cultivo, promoveu acréscimos lineares, atingindo na dose de 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ teor de 2,77 g kg⁻¹ de P em parte aérea (Figura 14).

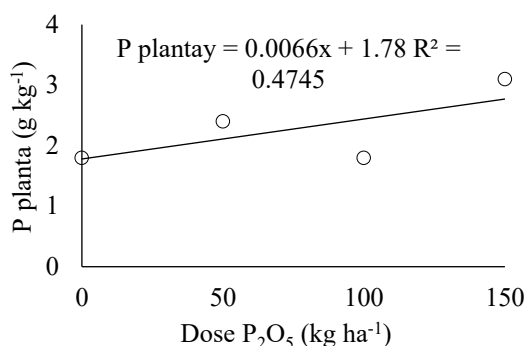


FIGURA 14. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz em solo argiloso após o primeiro cultivo.

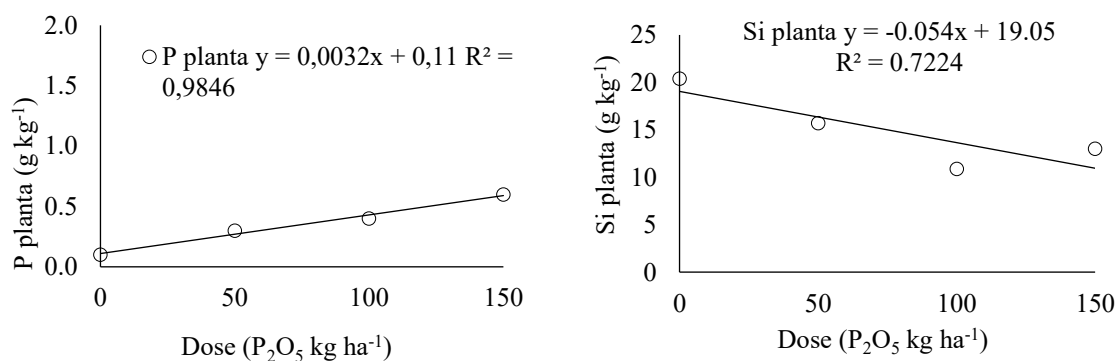


FIGURA 15. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de P e Si na parte aérea de plantas de arroz em solo argiloso após o segundo cultivo.

O aumento das doses de P₂O₅ promoveu acréscimos lineares no teor de P na parte aérea em segundo cultivo na cultura do arroz, embora esses teores sejam baixos, é possível observar que houve efeito residual do MAP ou MAP+S aplicado no primeiro cultivo (Figura 15). Já para Si nas plantas, esse comportamento, apresentou decréscimos com o aumento das doses de P.

Houve interação significativa entre doses, fontes e presença ou não de Si para teores de Ca em parte aérea de plantas de arroz em primeiro cultivo (Tabela 15). De modo geral, observa-se que o MAP se sobressaiu em relação ao MAP+S, comparando-se a presença ou não de Si é possível verificar apenas no tratamento dentro da dose 150 kg ha⁻¹ de MAP (5,6 g kg⁻¹) apresentou resultado inferior, os demais foram estatisticamente iguais. Em relação às testemunhas, praticamente todos tratamentos com MAP+S se diferenciaram negativamente.

Nos teores de Mg, praticamente todos os tratamentos se diferiram das testemunhas, exceto os que receberam apenas 50 kg ha⁻¹ de MAP com ou sem Si (2,6 e 2,7 g kg⁻¹), com valores abaixo. Comparando as médias das parcelas com ou sem Si, independente de fonte e doses, verifica-se que sem aplicação de Si os teores de Mg foram superiores (Tabela 15).

Para teores de Ca em plantas de arroz em segundo cultivo, houve interação significativa entre as fontes com presença ou não de Si, onde o tratamento com MAP sem Si (9,3 g kg⁻¹) apresentou valores superiores (24%), comparando-se com MAP+S (7,1 g kg⁻¹). Quase todos os tratamentos foram inferiores as testemunhas, exceto os tratamentos nas doses 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ sem a presença de Si (Tabela 15).

Avaliando os teores de Mg, apenas os tratamentos nas doses 100 e 150 kg ha⁻¹ sem Si, foram superiores em relação as testemunhas (Tabela 15), resultados semelhantes foram verificados por Nicchio (2015), comparando fontes e doses de P, observou incrementos em relação a testemunha, quando utilizou a dose 200 kg ha⁻¹ com o Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado farelado ou granulado como fonte.

TABELA 15. Teores de Ca e Mg na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Ca planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	8,9		
	Sem	7,4		
50	Com	5,8* Aa	4,7*+ Aa	5,3
	Sem	8,1 Aa	4,7*+ Ba	6,4
100	Com	5,9* Aa	4,3*+ Ba	5,1
	Sem	9,6 Aa	5,5* Ba	7,5
150	Com	5,4* Aa	4,7*+ Aa	5,0
	Sem	5,6* Ab	5,5* Aa	5,6
Médias	Com	6,3 A	5,9 A	5,1
	Sem	9,2 A	7,1 B	6,5
	Total	6,7	4,9	
Mg planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	1,8		
	Sem	2,2		
50	Com	2,6	3,5*+	3,1 b
	Sem	2,7	3,3*	3,0 b
100	Com	4,4*+	3,9*+	4,2 b
	Sem	3,9*+	4,8*+	4,4 b

Continua

TABELA 15. Teores de Ca e Mg na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

150	Com	4,6*+	4,8*+	4,7 b
	Sem	5,8*+	5,6*+	5,7 a
Médias	Com	3,9	3,8	3,9 b
	Sem	4,2	4,6	4,4 a
	Total	4,0 A	4,3 A	
2º cultivo				
Ca planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	9,4		
	Sem	8,1		
50	Com	6,6*	5,3*+	6,0 a
	Sem	10,1	7,1	8,6 a
100	Com	5,7*+	6,2*	6,0 a
	Sem	9,6	7,4	8,5 a
150	Com	6,6*	6,2*	6,4 a
	Sem	8,1	6,9*	7,5 a
Médias	Com	6,3 A	5,9 A	6,1
	Sem	9,3 A	7,1 B	8,2
	Total	7,8	6,5	
Mg planta (g kg⁻¹)				
Controle	Com	2,7		
	Sem	2,7		
50	Com	4,2	3,6	3,9 a
	Sem	3,3	4,0	3,7 a
100	Com	3,8	3,9	3,9 a
	Sem	4,4*+	5,2*+	4,8 a
150	Com	3,8	4,0	3,8 a
	Sem	5,0*+	4,8*+	4,9 a
Médias	Com	3,9	3,8	3,9 b
	Sem	4,2	4,7	4,4 a
	Total	4,1 A	4,3 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Ca planta: 15; CV(%) 1º cultivo Mg planta: 12,4; CV(%) 2º cultivo Ca planta: 15,2; CV(%) 2º cultivo Mg planta: 17,9. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Observa-se que para Si acumulado não houve interação significativa, porém os tratamentos que receberam 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ de MAP (627,3 e 610,8 mg vaso⁻¹) com e sem Si e 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ de MAP (692,7 mg vaso⁻¹) com Si, apresentaram valores superiores comparando-se com ambas testemunhas. Quanto aos tratamentos que receberam Si (588,9 mg vaso⁻¹), obteve-se valores semelhantes a Si na planta, com incremento de 40% em relação ao tratamento sem Si (Tabela 16).

Em relação a P acumulado no primeiro cultivo, não houve interação significativa entre doses, fontes e a presença ou não de Si. Porém, observa-se que todos os tratamentos se diferiram em relação as testemunhas, apresentando resultados bem acima. Também verifica-se que onde foi aplicado Si e MAP+S (291,3 e 293,5 mg vaso⁻¹) houve um aumento em relação ao sem adubação silicatada e que utilizou o MAP como fonte de P₂O₅, comprovando a eficiência da interação entre Si x P (Tabela 16).

Para Si e P acumulado, os valores não apresentaram diferenças significativas (Tabela 16). Porém, para Si acumulado o tratamento onde utilizou-se MAP como fonte na dose 150 kg ha⁻¹ com adubação silicatada (237,2 mg vaso⁻¹), se diferenciou em relação a testemunha sem Si (23,2 mg vaso⁻¹), com incremento de 90% a mais.

Já para P acumulado no segundo cultivo de arroz, quase todos os tratamentos na dose 150 kg ha⁻¹ se diferenciaram das testemunhas, mostrando resultados superiores, com cerca de 98% a mais, com acúmulo máximo de 183 mg vaso⁻¹ (Tabela 16). O mesmo foi observado por Ávila (2016) e Valle (2016), onde o aumento de doses de P, independente da fonte utilizada proporcionou aumento no acúmulo de P.

TABELA 16. Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Si acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	234,6		
	Sem	173,3		
50	Com	627,3*+	579,1+	603,2 a
	Sem	610,8*+	372,4	491,6 a
100	Com	692,7*+	479,7	586,2 a
	Sem	303,0	310,9	206,9 a
150	Com	579,8+	574,8+	577,3 a
	Sem	267,9	266,7	267,3 a
Médias	Com	633,3	544,6	588,9 a
	Sem	393,9	316,7	355,3 b
	Total	513,6 A	430,6 A	
P acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	14,8		
	Sem	15,1		
50	Com	165,8*+	225,1*+	195,5 a
	Sem	175,6*+	163,3*+	169,4 a

Continua

TABELA 16. Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

100	Com	288,1*+	326,9*+	307,5 a
	Sem	220,8*+	281,8*+	251,3 a
150	Com	349,4*+	392,4*+	370,9 a
	Sem	262,6*+	371,2*+	316,9 a
Médias	Com	267,8	314,8	291,3 a
	Sem	219,7	272,1	245,9 b
	Total	243,7 B	293,5 A	
2º cultivo				
Si acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	35,1		
	Sem	23,2		
50	Com	122,9	57,9	90,3 a
	Sem	42,7	62,1	52,4 a
100	Com	178,2	156,2	167,2 a
	Sem	13,0	67,2	40,1 a
150	Com	237,2+	218,2	227,7 a
	Sem	161,9	186,6	174,3 a
Médias	Com	179,4	144,1	161,7 a
	Sem	72,6	105,3	88,9 a
	Total	125,9 A	124,7 A	
P acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	0,3		
	Sem	0,1		
50	Com	1,8	1,6	1,7 a
	Sem	0,9	1,5	1,2 a
100	Com	5,8	4,0	4,9 a
	Sem	0,5	2,1	1,3 a
150	Com	9,0	10,7*+	9,9 a
	Sem	11,7*+	10,7*+	11,3 a
Médias	Com	5,5	5,5	5,5 a
	Sem	4,1	5,1	4,6 a
	Total	4,4 A	5,3 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Si acum: 39; CV(%) 1º cultivo P acum: 19; CV(%) 2º cultivo Si acum: 85,7; CV(%) 2º cultivo P acum: 100,3 *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Com os ajustes dos modelos de regressão, verifica-se que para Si acumulado, o aumento das doses apresentou comportamento quadrático, com acúmulo máximo na dose 90 kg ha⁻¹ P₂O₅. O mesmo foi verificado por Gualberto (2018), porém foi estudado o efeito do aumento de doses de diferentes fontes de Si, e não de P, como no presente estudo, mas é possível observar o potencial uso do Basica para fornecimento de Si para as culturas capazes

de acumular este elemento, visto que este promove melhorias para a cultura do arroz. Outro resultado semelhante foi verificado por (Figura 16).

Já para P acumulado, o aumento das doses promoveu acréscimos lineares, acumulando 368 mg vaso⁻¹ na dose 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ (Figura 16). Barreto et al. (2002) ao avaliar os efeitos de doses e modo de aplicação de P no solo na produtividade de milho, também verificou incrementos lineares deste nutriente em resposta ao aumento das doses de P₂O₅.

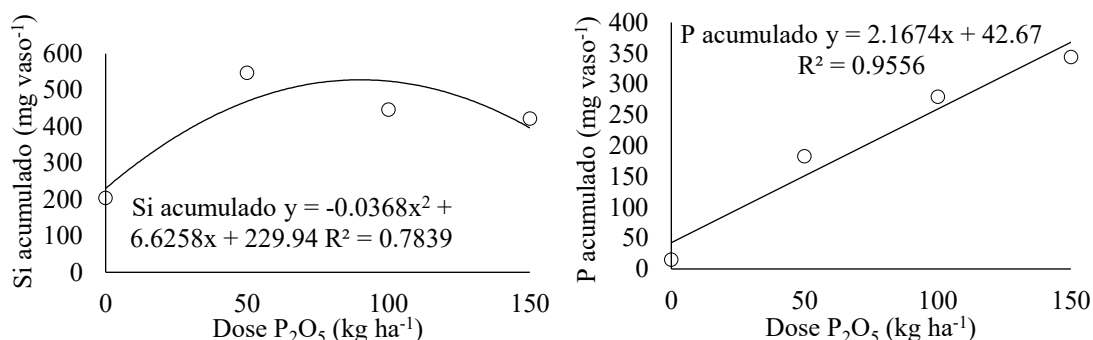


FIGURA 16. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz em solo argiloso após o primeiro cultivo.

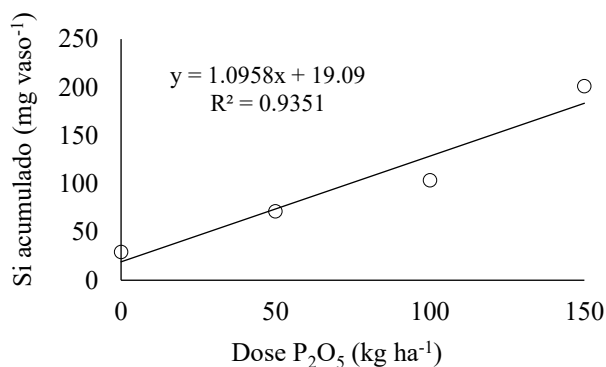


FIGURA 17. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ nos teores de Si e P acumulado na parte aérea de plantas de arroz em solo argiloso após o segundo cultivo.

O aumento das doses de P promoveu acréscimos lineares nos teores de Si acumulado em solo de textura argilosa (Figura 17), esses valores podem estar relacionados com os efeitos de interação do Si com P no solo (TOKURA et al., 2007).

Conforme Tabela 17 houve interação significativa para o acúmulo de Ca em plantas de arroz e todos os tratamentos se diferenciaram das testemunhas, em primeiro cultivo Comparando as fontes observa-se que apenas nas doses 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sem Si utilizando o MAP+S os resultados foram inferiores (534,6 e 370,4 mg vaso⁻¹). Já para o

acúmulo de Mg, não houve interação significativa, porém todos os tratamentos se diferenciaram das testemunhas, assim como para Ca, apresentando valores superiores.

Não houve interação significativa entre doses, fontes e presença ou não de Si para os valores de Ca e Mg acumulado no segundo cultivo de arroz. Porém, para Ca acumulado, o tratamento com MAP sem Si na dose 150 kg ha⁻¹ (189 mg vaso⁻¹), foi o único que se diferenciou das testemunhas (Tabela 17). Já para Mg acumulado foram os tratamentos com MAP (117,1 mg vaso⁻¹) e MAP+S (72,9 mg vaso⁻¹), na dose 150 kg ha⁻¹, ambos sem adubação com Si, se diferenciaram das testemunhas, mostrando valores superiores. Embora nenhum desses tratamentos terem recebido adubação silicatada, na instalação do experimentos o solo foi incubado com CaCO₃ e MgCO₃, visando elevar a saturação por bases a 60%.

TABELA 17. Ca e Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Ca acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	74,2		
	Sem	58,9		
50	Com	378,8*+ Ab	386,1*+ Ab	382,4
	Sem	580,3*+ Ab	370,4*+ Bb	475,3
100	Com	580,3*+ Aa	453,8*+ Aab	517,0
	Sem	865,5*+ Aa	534,6*+ Bab	700,1
150	Com	605,8*+ Aa	561,4*+ Aa	583,6
	Sem	512,9*+ Ab	648,5*+ Aa	107,82
Médias	Com	521,7	467,1	494,4 b
	Sem	652,9	517,8	585,4 a
	Total	587,2 A	492,4 B	
Mg acumulado (mg vaso⁻¹)				
Controle	Com	14,8		
	Sem	17,3		
50	Com	174,4*+	283,6*+	229,0 a
	Sem	192,2*+	260,6*+	226,4 a
100	Com	435,6*+	417,3*+	426,5 a
	Sem	350,1*+	473,7*+	411,9 a
150	Com	513,3*+	583,8*+	548,6 a
	Sem	350,5*+	654,6*+	592,6 a
Médias	Com	374,5	428,3	401,4 a
	Sem	357,6	463,0	410,3 a
	Total	366,0 B	445,6 A	

Continua

TABELA 17. Ca e Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz em primeiro e segundo cultivo, em solo argiloso aos 85 e 75 dias após a emergência, em função da aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com ou sem silício.

		2º cultivo			
		Ca acumulado (mg vaso⁻¹)			
Controle	Com			16,6	
	Sem			8,3	
50	Com	35,4	19,6	27,5 a	
	Sem	37,0	31,4	34,2 a	
100	Com	70,0	59,0	64,5 a	
	Sem	22,5	56,0	39,2 a	
150	Com	97,8	99,0	98,4 a	
	Sem	189,0*+	108,4	148,7 a	
Médias	Com	67,8	59,2	63,5 a	
	Sem	82,8	65,3	74,1 a	
	Total	75,3 A	62,2 A		
		Mg acumulado (mg vaso⁻¹)			
Controle	Com			4,8	
	Sem			2,6	
50	Com	22,5	13,9	18,2 a	
	Sem	12,7	20,1	16,3 a	
100	Com	41,1	35,3	38,2 a	
	Sem	10,3	37,1	23,7 a	
150	Com	55,9	63,9	59,9 a	
	Sem	117,1*+	72,9*+	95,0 a	
Médias	Com	38,8	37,7	38,8 a	
	Sem	46,7	43,3	45,0 a	
	Total	43,3 A	40,5 A		

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Ca acum: 17,7; CV(%) 1º cultivo Mg acum: 15; CV(%) 2º cultivo Ca acum: 81; CV(%) 2º cultivo Mg acum: 78,8 *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

De modo geral, o aumento das doses de P promoveu acréscimos lineares para Ca acumulado. Foi verificado comportamento quadrático quando se utilizou a fonte MAP sem Si, com máximo acúmulo de Ca na dose 93 kg ha⁻¹ P₂O₅. O MAP com Si, na dose 150 kg ha⁻¹ promoveu acréscimos lineares, acumulando 679 mg vaso⁻¹, enquanto o MAP+S, acumulou 693 e 598 mg vaso⁻¹, sem e com Si, respectivamente (Figura 18).

O efeito do aumento das doses proporcionou acréscimos lineares no acúmulo de Ca e Mg, atingindo valores máximos na dose 150 kg ha⁻¹ 108 e 73 mg vaso⁻¹, respectivamente (Figura 19). Sandim (2016) verificou o mesmo comportamento para os macronutrientes P, Ca e Mg, apresentando acréscimos lineares nos teores em plantas de milho em solo de textura argilosa.

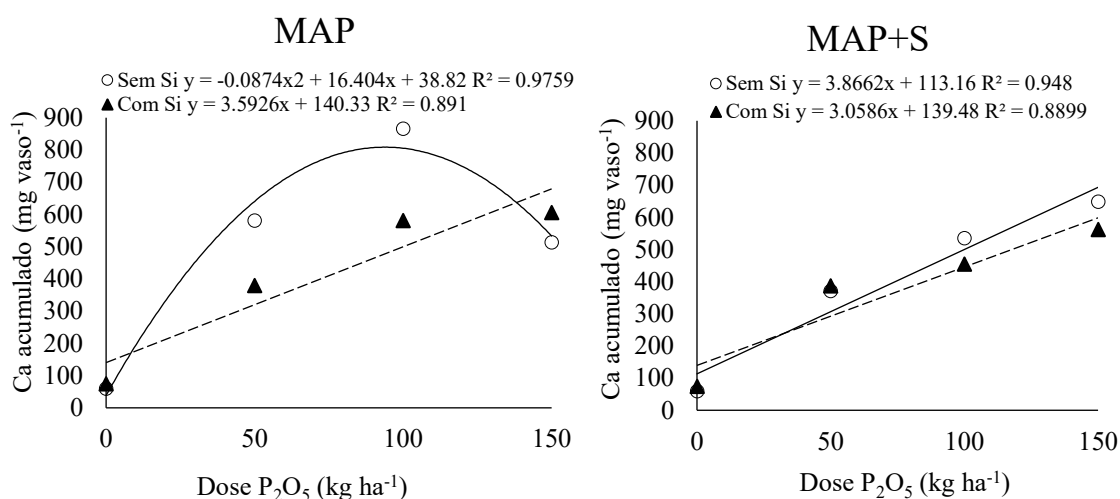


FIGURA 18. Efeito de doses crescentes de P_2O_5 nos teores de Ca acumulado na parte aérea de plantas de arroz em solo argiloso após o primeiro cultivo.

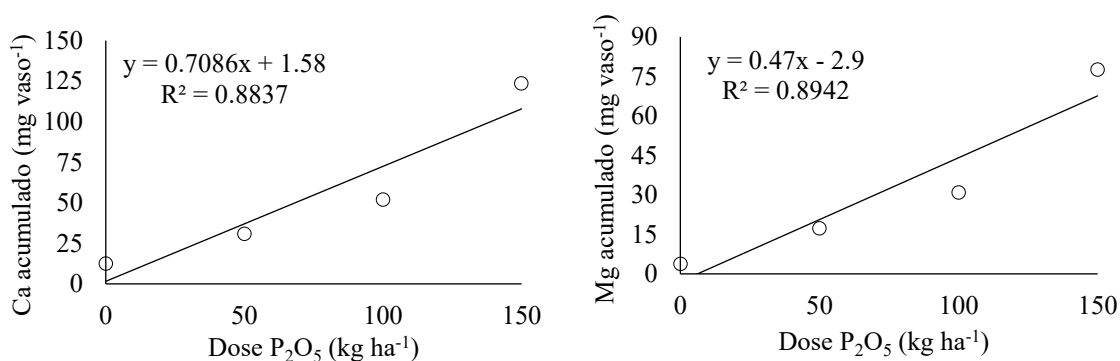


FIGURA 19. Efeito de doses crescentes de P_2O_5 nos teores de Ca e Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz em solo argiloso após o segundo cultivo.

Para teores de Si no solo em primeiro cultivo (Tabela 18), é possível observar que houve interação tripla entre os tratamentos, comparando-se as fontes utilizadas, embora os resultados terem apresentado diferenças significativas, os valores apresentaram semelhança, podendo afirmar a eficiência de ambas as fontes (MAP e MAP+S).

Quando compara-se o uso ou não de Si, os maiores valores são observados nos tratamentos onde foi aplicado Si, o que já era esperado, visto que os solos foram corrigidos com aplicação do Basica (fonte de Si). Todos os tratamentos se diferenciaram negativamente em relação a testemunha com Si, isso pode ser explicado pelo fato da não aplicação de P nessa parcela, com isso, o Si tende a ficar mais disponível no solo, competindo com Fe, Al e Ca.

Já para teores de P no solo, não houve diferenças significativas (Tabela 18). Esse comportamento pode ser explicado pela elevada tendência de adsorção de P no solo, principalmente em solos de textura argilosa (NICCHIO, 2018). No entanto, o tratamento na dose de 150 kg ha⁻¹ de MAP+S com Si, se diferenciou positivamente das testemunhas, apresentando um incremento de 94% a mais.

Almeida et al. (2017), ao estudar a influência da aplicação de Si com fosfato, verificou interação significativa entre doses de Si e P, promovendo aumento no teor de P disponível no solo. O mesmo foi observado por Fehr (2014), verificou teor de P no solo mais elevado, utilizando a wollastonita como fonte de Si e superfosfato como fonte de P.

Para teores de Si no solo, todos os tratamentos se diferenciaram das testemunhas, apresentando resultados inferiores (Tabela 18). Visto que, o solo em estudo é altamente intemperizado e possui elevados teores de Fe e Al, e nesse segundo cultivo o Si não foi repostado no solo e pelo fato da cultura do arroz ser uma planta acumuladora deste elemento.

Para P no solo, de modo geral, todos os resultados se mostraram superiores em relação a testemunha, porém, apenas o tratamento com MAP+S com Si e na dose 150 kg ha⁻¹ (2,7 mg kg⁻¹) se diferenciou estatisticamente de ambas testemunhas (Tabela 18) apresentando resultados superiores. Esse resultado pode ser explicado devido a alta capacidade do P ficar adsorvido em solos de textura argilosa, que contem elevados teores de Fe e Al (NICCHIO, 2018). Gualberto (2018), também verificou que a aplicação de diferentes doses de Si, utilizando o Basica como fonte (a mesma utilizada no presente estudo) ocasionou aumento nos teores de P no solo, ocasionando provável interação entre o P e Si, efeito esse, que pode justificar o que ocorreu nesse tratamento (2,7 mg kg⁻¹).

Em solos altamente intemperizados, como este, a aplicação de fontes de P₂O₅ totalmente solúveis em água, elevam os teores de P muito rápido, facilitando assim a absorção pelas plantas, por outro lado, também poderá ocorrer a rápida adsorção deste nutriente em óxidos de Fe e Al presentes principalmente em solos argilosos (César, 2016), por isso, a eficiência da adubação fosfatada é tão baixa.

TABELA 18. Teores de Si e P no solo de textura argilosa após primeiro e segundo cultivo de arroz em função de aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com e sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Si solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	11,5		
	Sem	4,9		
50	Com	3,3Aa*	2,2Ba*	2,7 a
	Sem	1,3Ba*	1,8Aa*	1,5 a
100	Com	2,8Aa*	3,1Aa*	3,0 a
	Sem	1,7Aa*	1,5Ab*	1,6 a
150	Com	2,7Aa*	3,0Aa*	2,8 a
	Sem	1,9Aa*	2,1Ab*	2,0 a
Médias	Com	2,9	2,8	2,8 a
	Sem	1,6	1,8	1,7 b
	Total	2,3 A	2,3 A	
P solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	0,5		
	Sem	0,9		
50	Com	1,4	1,6	1,5 a
	Sem	2,1	0,9	1,5 a
100	Com	3,1	5,7+	4,4 a
	Sem	1,7	5,5+	3,6 a
150	Com	4,1	9,2*+	6,7 a
	Sem	2,1	5,5+	3,8 a
Médias	Com	2,9	5,5	4,2 a
	Sem	2,0	4,0	3,0 a
	Total	2,4 B	4,7 A	
2º cultivo				
Si solo (mg kg⁻¹)				
Controle	Com	5,2		
	Sem	4,3		
50	Com	2,3*+	1,8*+	2,1 a
	Sem	1,9*+	2,0*+	1,9 a
100	Com	2,7*+	1,7*+	2,2 a
	Sem	1,5*+	1,7*+	1,6 a
150	Com	1,5*+	1,7*+	1,6 a
	Sem	1,3*+	1,6*+	1,4 a
Médias	Com	2,2	1,7	1,9 a
	Sem	1,6	1,8	1,8 a
	Total	1,9 A	1,7 A	

Continua

TABELA 18. Teores de Si e P no solo de textura argilosa após primeiro e segundo cultivo de arroz em função de aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com e sem silício.

Controle	Com Sem	P solo (mg kg ⁻¹)		
		0,7	0,5	
50	Com	1,0	0,8	0,9 a
	Sem	1,1	1,4	1,3 a
100	Com	1,0	1,7+	1,3 a
	Sem	1,2	1,3	1,3 a
150	Com	1,6+	2,7*+	2,1 a
	Sem	1,3	1,7+	1,5 a
Médias	Com	1,2	1,7	1,4 a
	Sem	1,2	1,5	1,4 a
	Total	1,2 A	1,6 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1° cultivo Si solo: 15,7; CV(%) 1° cultivo P solo: 70,9; CV(%) 2° cultivo Si solo: 35; CV(%) 2° cultivo P solo: 38. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Com os ajustes dos modelos de regressão, observa-se que o aumento das doses e fontes utilizadas, resultou em acréscimos lineares em teores de P no solo, destacando-se a fonte MAP+S, que disponibilizou na dose de 150 kg ha⁻¹ o teor de 8,23 mg kg⁻¹ de P, enquanto o MAP 3,23 mg kg⁻¹ de P solo (Figura 20). Em pesquisa realizada por Vogel (2014), avaliando a eficiência de fontes de fertilizantes e estratégias de aplicação em soja, verificou maior produtividade de soja quando aplicou o MAP+S, independente da forma de aplicação. Isso pode estar associado a elevada qualidade do produto, que tem como principais características, alta concentração de nutrientes, eficiência de aplicação e boa qualidade física (MOSAIC, 2021).

O Basica também possui em sua composição F (flúor), existem muitas pesquisas que mostram a eficiência deste elemento em formar pares iônicos com o Al, complexando-o e conseqüentemente, aumentando a disponibilidade do P no solo. Segundo Valle (2016), vários atributos no solo alteram o comportamento do F, como teor de argila, pH e concentrações de elementos, como o caso do Al e P. Gualberto (2018), verificou que a aplicação do Basica anulou os teores de Al em solos argilosos, isso ocasionará menos adsorção deste elemento com o nutriente P, deixando-o mais disponível para as plantas.

O aumento de doses de P, ocasionou acréscimos lineares para teores de P no solo e decréscimos para Si (Figura 21), independente da fonte de P e presença de Si. Os adubos fosfatados, além do fornecimento imediato de P para as culturas, também tem efeito residual (SOUSA; LOBATO, 2003), o que pode explicar os resultados para os teores de P no solo.

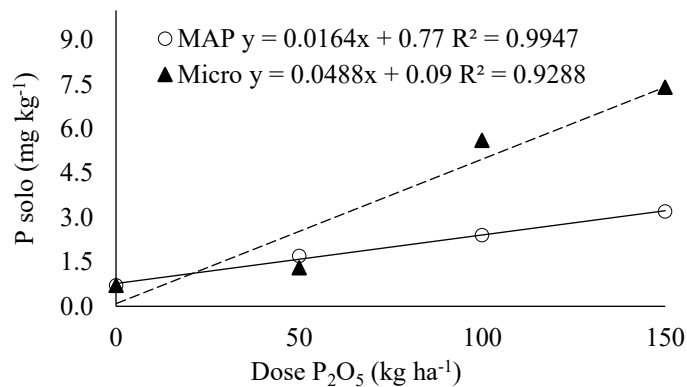


FIGURA 20. Efeito de doses crescente de P₂O₅ nos teores de P em solo argiloso após o primeiro cultivo de plantas de arroz.

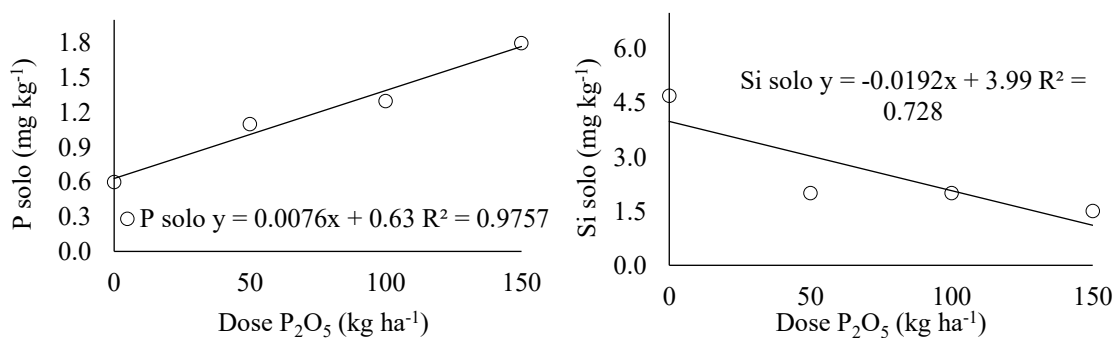


FIGURA 21. Efeito de doses crescente de P₂O₅ nos teores de P e Si em solo argiloso após o segundo cultivo de plantas de arroz.

De modo geral, para teores de Ca no solo no primeiro cultivo, verifica-se que os tratamentos com Si promoveram resultados superiores em relação aos sem adubação com Si. Na comparação com as testemunhas, os tratamentos nas doses 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de MAP ou MAP+S todos com Si, se diferenciaram dos controles, apresentando valores abaixo da testemunha com Si (4,4 mg kg⁻¹) e acima da testemunhas sem o Si (2,1 mg kg⁻¹), ficando entre esses valores. Para teores de Mg no solo, todos os tratamentos se diferenciaram das testemunhas, apresentando resultados inferiores (Tabela 19).

Para teores de Ca no solo, não houve interação significativa, porém todos os tratamentos que receberam adubação com Si se diferenciaram negativamente da testemunha com Si, e os que não foram aplicados Si das testemunhas sem Si (Tabela 19). Portanto,

comparando-se os tratamentos com e sem Si, independente das fontes e doses de P utilizadas, observa-se que com adubação silicatada ($6,4 \text{ mg kg}^{-1}$) o solo apresentou maiores teores de Ca, com incremento de 34% em relação ao tratamento sem Si ($4,2 \text{ mg kg}^{-1}$). O Basica, além de fonte de Si, também é fonte de Ca, possuindo em sua composição 22% de Ca, o que pode ter ocasionado esse maior teor de Ca nesse tratamento.

Para os teores de Mg no solo, observa-se que apenas os tratamentos nas doses 100 (sem Si) e 150 kg ha^{-1} (com Si) independente da fonte de P utilizada, se diferenciaram das testemunhas, apresentando resultados inferiores (Tabela 19). Ao contrário do que observado no presente estudo, Ramos (2005) verificou que a aplicação de diferentes fontes de Si, ocasionou maiores teores de Ca e Mg em solo de textura argilosa, provavelmente a capacidade desses produtos em fornecer esses nutrientes, além de Si, e conseqüentemente corrigir pH do solo.

Para S no solo verifica-se interação significativa entre as fontes utilizadas, de modo geral, destaca-se o MAP+S, que apresentou melhores resultados quando comparado com o MAP, principalmente nos tratamentos que receberam adubação silicatada (Tabela 19). Também houve interação significativa entre as fontes testadas e presença ou não de Si, destacando-se o tratamento com MAP+S com adubação silicatada ($1,1 \text{ mg kg}^{-1}$). Esses resultados já eram esperados, visto que o MAP+S tem em sua composição duas formas de S, sendo um prontamente disponível e outra o elementar, disponibilizando esse nutriente no solo.

TABELA 19. Teores de Ca e Mg no solo de textura argilosa após primeiro e segundo cultivo de arroz, em função de aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com e sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
Ca solo (cmol_c dm⁻³)				
Controle	Com	4,4		
	Sem	2,1		
50	Com	3,7*+	3,9*+	3,8 a
	Sem	2,1*	2,2*	2,2 a
100	Com	3,9*+	3,9*+	3,9 a
	Sem	2,2*	2,2*	2,2 a
150	Com	3,9*+	4,0*+	4,0 a
	Sem	2,2*	2,1*	2,2 a
Médias	Com	3,8	3,9	3,9 a
	Sem	2,2	2,2	2,2 b
	Total	3,0 A	3,0 A	
Mg solo (cmol_c dm⁻³)				
Controle	Com	0,7		
	Sem	0,6		
50	Com	0,5*+	0,4*+	0,5 a
	Sem	0,5*+	0,5*+	0,5 a
100	Com	0,4*+	0,3*+	0,4 a
	Sem	0,4*+	0,4*+	0,4 a
150	Com	0,3*+	0,3*+	0,3 a
	Sem	0,4*+	0,3*+	0,3 a
Médias	Com	0,4	0,4	0,4 a
	Sem	0,4	0,4	0,3 a
	Total	0,4 A	0,4 A	
2º cultivo				
Ca solo (cmol_c dm⁻³)				
Controle	Com	7,1		
	Sem	4,8		
50	Com	6,4*	6,7*	6,6 a
	Sem	4,7+	4,4+	4,5 a
100	Com	6,2*	6,5*	6,3 a
	Sem	3,8+	4,3+	4,1 a
150	Com	6,6*	6,2*	6,4 a
	Sem	4,0+	3,9+	3,9 a
Médias	Com	6,4	6,4	6,4 a
	Sem	4,2	4,2	4,2 b
	Total	5,3 A	5,3 A	

Continua

TABELA 19. Teores de Ca e Mg no solo de textura argilosa após primeiro e segundo cultivo de arroz, em função de aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com e sem silício.

		Mg solo (cmol_c dm⁻³)		
Controle	Com	1,2		
	Sem	1,3		
50	Com	1,0	1,0	1,0 a
	Sem	1,2	1,1	1,2 a
100	Com	0,9*+	0,9*+	0,9 a
	Sem	1,0	1,0	1,0 a
150	Com	0,8*+	0,7*+	0,8 a
	Sem	0,8*+	0,7*+	0,7 a
Médias	Com	0,9	0,9	0,9
	Sem	1,0	0,9	1,0
	Total	0,9 A		
		S solo (mg kg⁻¹)		
Controle	Com	0,7		
	Sem	0,5		
50	Com	0,7 b	1,5 a*+	1,1
	Sem	0,6 b	0,8 b	0,7
100	Com	0,6 b	1,0 a	0,8
	Sem	0,9 b	0,7 b	0,8
150	Com	0,8 a	0,8 a	0,8
	Sem	0,6 b	1,0 a	0,8
Médias	Com	0,7 b	1,1 a	0,9
	Sem	0,7 b	0,9 b	0,8
	Total	0,7		1,0

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo Ca solo: 6,3; CV(%) 1º cultivo Mg solo: 12,1; CV(%) 2º cultivo Ca planta: 10; CV(%) 2º cultivo Mg planta: 13,2; CV(%) 2º cultivo S planta: 26. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

A aplicação de doses crescentes de P resultou em decréscimos lineares nos teores de Mg no solo, nos tratamentos com e sem Si (Figura 19). Lisboa et al. (2017) verificou interação significativa entre as fontes fosfato decantado e fosfato de monoamônio e quatro doses de P (0; 80; 120; 160 kg ha⁻¹ P₂O₅), aplicadas na profundidade de 0-20 cm, com efeito quadrático para a fonte MAP e decréscimos lineares para fosfato decantado.

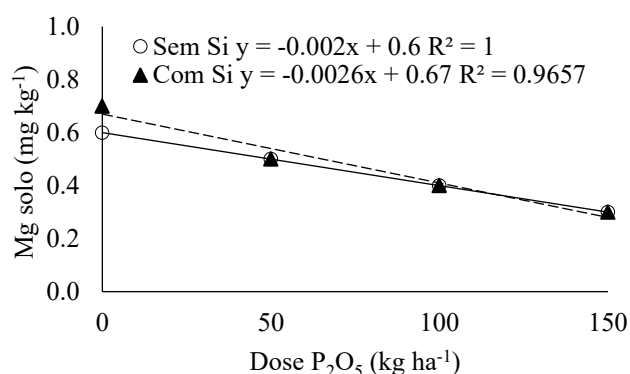


FIGURA 21. Efeito de doses crescente de P₂O₅ nos teores de Mg em solo argiloso após o primeiro cultivo de plantas de arroz.

Para pH do solo, não houve significância para a interação tripla, isso pode ser explicado devido a condição de solo alagado, pois a maior fração do P inorgânico está associada ao Fe, como este elemento é reduzido durante o alagamento, uma parte dos óxidos e fosfatos férricos é solubilizada (VAHL, 2004). No entanto, é possível verificar nos tratamentos que receberam adubação com Si, que os valores de pH foram um pouco mais elevados em relação aos que não foram aplicados Si. Em estudo realizado por Gualberto (2018) foi verificado resultados semelhantes do presente estudo, onde a aplicação de Si promoveu o aumento no pH em solo argiloso utilizado o Basica e Wollastonita, como fontes de Si.

Verificou-se interação significativa apenas entre as fontes testadas e a presença ou não de Si, é possível observar que a fonte MAP com adubação silicatada foi o tratamento que obteve resultados inferiores (pH=5,4), em relação ao MAP+S. Comparando os tratamentos com as testemunhas (com e sem Si), verifica-se que todos se diferenciaram de forma positiva em relação ao que não recebeu adubação com Si.

Os valores de pH em solo argiloso em segundo cultivo, não apresentaram diferenças significativas (Tabela 20), porém observa-se que o tratamento com Si (pH=5,6) sobressaiu em relação ao sem Si (pH=5,2), independente da fonte e dose de P. Em pesquisa realizada por Gualberto (2018), estudando aplicação de fontes e doses de Si em solo arenoso e argiloso verificou-se que ambas as fontes foram capazes em elevar o pH, porém, o subproduto da indústria fosfatada (Basica) foi mais eficiente em elevar pH em solo argiloso. Comparando-se os tratamentos com a testemunha que não recebeu adubação silicatada, é possível observar

que o pH foi maior onde aplicou-se Si. A utilização do Si aumenta pH, elevando sua disponibilidade no solo (RAMOS, 2005).

TABELA 20. pH do solo de textura argilosa após primeiro e segundo cultivo de arroz, em função de aplicação de fontes de fósforo em diferentes doses de P₂O₅ com e sem silício.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Si	Fontes de P		Médias
		MAP	MAP+S	
1º cultivo				
pH				
Controle	Com			5,3
	Sem			4,8
50	Com	5,3+	5,6*+	5,5 a
	Sem	5,1+	5,0+	5,1 a
100	Com	5,5*+	5,5*+	5,5 a
	Sem	5,0*+	5,0+	5,1 a
150	Com	5,4+	5,5*+	5,5 a
	Sem	4,9*+	5,0+	5,0 a
Médias	Com	5,4 B	5,6 A	5,5
	Sem	5,1 A	5,0 A	5,1
	Total	5,2	5,3	
2º cultivo				
pH				
Controle	Com			5,2
	Sem			4,7
50	Com	5,5+	5,8*+	5,6 a
	Sem	4,5	5,5+	5,0 a
100	Com	5,6+	5,6+	5,6 a
	Sem	5,3+	5,2	5,3 a
150	Com	5,4+	5,6+	5,5 a
	Sem	5,1	5,2	5,2 a
Médias	Com	5,5	5,7	5,6 a
	Sem	5,0	5,3	5,2 b
	Total	5,2 B	5,5 A	

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna (dentro de cada nível de P₂O₅) e maiúscula na linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância; CV(%) 1º cultivo: 2; CV(%) 2º cultivo: 5,8. *Significativo em comparação ao controle com Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; + Significativo em comparação ao controle sem Si pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Analisando as fontes utilizadas, destaca-se o MAP+S (pH=5,5), que apresentou melhor resultado em relação ao MAP (pH=5,2). O único tratamento que se diferenciou de ambas testemunhas, também foi com MAP+S, com Si e na dose 50 kg ha⁻¹, com valor de pH de 5,8. Efeito contrário foi observado por Boaro et al. (2014), quando avaliou a eficiência do uso de S elementar na redução do pH em substrato alcalino, pois após sua oxidação, cada mol de S elementar gera dois moles de H⁺, reduzindo pH do meio, segundo KÄMPF et al. (2009); BARBARO et al. (2010) e HEYDARNEZHAD et al. (2012).

5. CONCLUSÕES

O aumento das doses, independente da fonte fosfatada utilizada, foi eficiente em aumentar a produção de MSPA, os teores de P nas plantas, o acúmulo de P e Si, assim como os teores de P no solo, no primeiro e segundo cultivo, em ambos os solos, arenoso e argiloso.

A utilização da adubação silicatada aumentou a eficiência das fontes fosfatadas, tanto no primeiro e como no segundo cultivo, em ambos os solos, arenoso e argiloso. Também, na média entre os tratamentos com e sem silício, houve aumento no silício nas plantas.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. N. **Avaliação de um fosfato natural e termofosfatos quanto aos teores totais de metais pesados e à disponibilidade de micronutrientes.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. DOI: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/10834>

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (Brasil). **Principais indicadores do setor de fertilizantes.** [S.l.], 2021. Portal. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Principais_Indicadores_2020.pdf. Acesso em: 25 mar 2021.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 12. ed. Washington, D.C.: Association of Analytical Chemistry, 1975. 1094 p. Disponível em: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>. Acesso em: 17 mar 2021.

ÁVILA, M. A. P. **Influência do silício sobre a difusão do fósforo no solo e na eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados granulados.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-13092016-145616/publico/MarcoAntonioPereiradeAvila.pdf>. Acesso em: 17 mar 2021.

BARBARO, L. A.; M. A. KARLANIAN; D. MORISIGUE. Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. **Agriscientia**, [s.l.], v. 27, p.125-130, 2010. Disponível em: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/2774>. Acesso em: 10 mar 2021.

BROCH, D. L.; PAVINATO, P. S.; MPOSSENTI, J. C.; MARTIN, T. N.; QUIQUI, E. M. D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agrônômica**, [s.l.], v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300027>.

BÜLL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um Latossolo vermelhoescuro e eficiência agrônômica. **Bragantia**, [s.l.], v.56, n.1, p.169- 79, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051997000100018>.

CAIONE, G. **Avaliação de fontes de fósforo no desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/98783>. Acesso em: dia mês ano.

CARNEIRO, C. E. A.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. C. B.; CARNEIRO, G. E. S. Calcário, Potássio, Fosfato e Silício na produtividade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 4, p. 465-470, 2006. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.759>

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 51-59, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100006>

CÉSAR, F. R. C. F. **Eficiência agronômica de misturas no mesmo grânulo de fosfatos acidulados, fosfatos naturais e enxofre elementar**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, p. 132, 2016. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2016.tde-04102016-162621>.

CORREA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1307-1317, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000900013>

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; SEVERINO, E. C.; SAMPAIO, F. M. T.; CARRIJO, M. S.; RODRIGUES, C. R. Extração de nutrientes pela fitomassa de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 307-314, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5216/cab.v11i2.4043>

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p. Disponível em: http://www.sbcns-nrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf. Acesso em: 1 mar 2021.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/541704>.

EMBRAPA. **Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/28917/1/doc_195.pdf. Acesso em: 4 abr 2021.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2017. 212 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>. Acesso em: 4 abr 2021.

FAO. **World fertilizer and outlook to 2022**. Rome: FAO, 2019. 9 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca6746en/ca6746en.pdf>. Acesso em: 4 abr 2021.

FEHR, R. M. **Efeito do silício na utilização do fósforo pelas plantas de arroz**. Dissertação - (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2014.tde-10112014-094159>

FERREIRA, D. F. SISVAR: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 38, p. 109-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

GAZOLA, R. N.; BUZETTI, S.; DINALLI, R. P.; FILHO, M. C. M.; CELESTRINO, T. S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.4, p. 544-549, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600016>

GITTI, D. C.; ROSCOE, R. **Manejo e fertilidade do solo para a cultura da soja**. Maracaju, 2017. Portal Fundação MS. Disponível em: https://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/267/267/5ae094693ac7eb62b18892214e39e87c4db50d63f6523_capitulo-01-manejo-e-fertilidade-do-solo-para-a-cultura-da-soja-somente-leitura-.pdf . Acesso em: 30 jul 2021.

BRASIL bate recorde de importações de fertilizantes no primeiro semestre, [S.l.], 2021. Portal: Globalfert. Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/analises/brasil-bate-recorde-de-importacoes-de-fertilizantes-no-primeiro-semester/>. Acesso em: 14 ago 2021.

GONÇALVES, G. K.; SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais patos de minas e arad em dois solos alagados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 5, p. 2158-2164, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500036>

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Potafos, **Informações Agronômicas**, [s.l.], n. 95, 2001. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf). Acesso em: 10 ago 2021.

GUALBERTO, C. C. **Subprodutos industriais como fontes de silício e condicionadores de solos tropicais em cultivo de arroz inundado**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 64, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21430>

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, E. V.; GAMA, M. A. P.; SILVA, A. L. P. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento de brachiaria brizanta em latossolo amarelo sob pastagem degradada na amazônia. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 117-129, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/129>. Acesso em: 4 mar 2021.

GUTIERREZ, R. S.; INOCÊNCIO M. F.; NOVELINO, J. O. Extração de silício em solos fertilizados com fosfato e silicato. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n.1, p. 1-7, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8316>

HETTIARACHCHI, G. M.; LOMBI, E.; MCLAUGHLIN, M. J.; CHITTLEBOROUGH, D.; JOHNSTON, C. Chemical behavior of fluid-and-granular-Mn and Zn fertilizers in alkaline soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. p.238-247, 2010. <https://doi.org/10.1071/SR09051>

HEYDARNEZHAD, F. *et al.* Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, [s.l.], v. 4, n.12, p.735-739, 2012. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123364518>. Acesso em: 6 jul 2021.

KÄMPF, A. N. *et al.* Lowering pH value with elemental sulfur in the substrate for ex vitro acclimatization. **Acta Horticulture : ISHS**, [s.l.], v. 812, p. 15- 420, 2009. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.812.58>

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stal (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 387-392, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ne/a/5z6zR9nf3bvB8M5QdbnxFLj/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 10 jun 2021.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000100013>.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Silício no solo e na planta**. 2. ed. Uberlândia: UFU-GPSi-ICIAG, 2004b. (Boletim Técnico). Disponível em: <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Fontes%20de%20Si/fontes.htm>. Acesso em: 27 abr. de 2021.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante, Uberlândia: Grupo de Pesquisa ICIAG, 2004. Disponível em: http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/bt2_gps_i.pdf. Acesso: 29 dez. 2017.

HERNÁNDEZ, I.; MUNNÉ-BOSCH, S. Linking phosphorus availability with photo-oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 10, p. 2889-2900, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv056>

HOROWITZ, N.; MEURER E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.(ed.) **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 1-12.

LISBOA, L. A. M.; HEINRICHS, R.; FIGUEIREDO, P. A. M. Efeitos da fosfatagem nos atributos químicos do solo e produção de cana-de-açúcar para forragem. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.74, n. 3, p.213-220, 2017. <https://doi.org/10.17523/bia.v74n3p213>

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. *In*: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, p. 17-39, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80006-9)

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; PORTO FILHO, F. Q.; GUEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Teores foliares de nutrientes em meloeir es de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grange, v.9, p. 292-295, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp292-295>

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594p.

MAUD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 27, n. 5, p. 867 – 873, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500011>.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p799>.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p.435-454, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130412/1/CPAF-AP-2015-Silicio-interacao-com-o-sistema-solo-planta.pdf>>. Acesso em: 10 jul 2021.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; GOMES, A. C. Produtividade do arroz em resposta ao efeito residual da adubação fosfatada em solo de cerrado. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS*, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Fertibio, 2002. 1 CD-ROM.

MOSAIC FERTILIZANTES. **Mosaic**. Tampa, Flórida, 2021. Portal. Disponível em: <https://mosaicco.com.br/Fertilizantes>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, p. 31–36, 1962. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)

NAKAYAMA, L.H.I.; CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C. *et al.* Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, [s.l.], v.55, n.2, p.183-90, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000200003>

ALCÂNTARA NETO, F.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200014>.

NICCHIO, B. **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2014. D <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12223>.

NICCHIO, B. **Fontes de fósforo e enxofre para cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018. DOI: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23286>.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; CORSI, M. Efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1715-1728, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000800003>.

OLIVEIRA, J. P. .; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; POCOJESKI, E. A aplicação localizada de monoamônio fosfato favorece a disponibilidade de p no solo e sua absorção. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v.18, n. 1, p. 12-19, 2017. DOI:<https://doi.org/10.5380/rsa.v18i1.50311>

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, [s.l.], v. 39, n. 6, p. 732-740, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Caxambu, v. 25, n. 1, p-83-90, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100009>

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RAMOS, L. A. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12235/1/LARamosDISSPRT.pdf>>. Acesso em: 11 jul 2021.

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, [s.l.], v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000300025>.

RICHARD, A.; LANA, M. C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; BRACCINI, A. L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 30, n. 4, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400010>

ROSEMARIN, A.; EKANE, N. The governance gap surrounding phosphorus. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 104, n. 3, p. 265-279, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9747-9>

ROSSI, C.; ANJOS, A. R. M.; CAMARGO, M. S.; WEBER, O. L. S.; IMHOFF, S.; MALAVOLTA, E. Feito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. **Sciencia Agricola**, Piracicaba, v.56, n. 1, p. 39-46, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000100007>

SANDIM, A. S.; BULL, L. T.; FURIM, A. R.; LIMA, G. S.; GARCIA, J. L. N. 1. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Botucatu, v. 38, p. 1215-1222, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400018>.

SCHRÖDER, J. J.; CORDELL, D.; SMIT, A. L.; ROSEMARIN, A. **Sustainable use of phosphorus**. Wageningen: Wageningen University and Stockholm Environment Institute, 2010. 124 p. (Plant Research International Report, 357). Disponível em: < https://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/sustainable_use_phosphorus.pdf>. Acesso em: 11 jul 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 11, p. 3733-3740, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 2014, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: SOSBAI, 2014. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/culturas_anuais/livros/ARROZ%20IRRIGADO%20RECOMENDACOES%20TECNICAS%20DA%20PESQUISA%20PARA%20O%20SUL%20DO%20BRASIL.pdf. Acesso em: 25 maio 2021.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. **Potafos Encarte do Informações agrônômicas**, [s.l.], n. 102, 2003. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/78429ADDBF7C6D5183257AA2005C6827/\\$FILE/ENCARTE102.PDF](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/78429ADDBF7C6D5183257AA2005C6827/$FILE/ENCARTE102.PDF). Acesso em: 15 ago. 2021.

SOUZA, G. T.; GOUVEIA, F. P.; CUNHA, R. R.. Estudo da aplicação do resíduo da produção de silício metálico como adição mineral na produção do cimento AÇAÍ. **Revista de Engenharia Civil**, [s.l.], n. 55, p. 29-35, 2018. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.29-35.pdf>. Acesso em 11 jul 2021.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo : Essencial para a vida. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.(ed.) **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004, p. 1-12.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, S. O.; TEIXEIRA, R. O.; SANTOS, V. B.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M. Doses de fósforo e nitrogênio na produção de *Brachiaria* híbrida cv. Mulato II. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 65, n.1, p. 028-034, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865010005>.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E. F.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. Silício e fósforo em diferentes . **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i1.58>

VALLE, L. A. R. **Avaliação do potencial de uso agrícola da fluorita com óxido de silício (AgroSiCa), derivado da fabricação de fertilizantes fosfatados**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2016.

VALLE, L. A. R.; RODRIGUES, S. L.; RAMOS, S. J.; PEREIRA, H. S.; AMARAL, D. C.; SIQUEIRA, J. O.; GUILHERME, L. R. G. Beneficial use of a by-product from the phosphate fertilizer industry in tropical soils: effects on soil properties and maize and soybean growth. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 112, p. 113-120, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.037>

VIDAL, A. A.; PRADO, R. M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e ureia em latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 264-272. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.13012>

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, [s.l.], v.8, n.2, p. 37-44, 2013.

VOGEL, P. T. **Estratégias de aplicação e fontes de fertilizantes na cultura da soja**. Dissertação - (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.