

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PATRÍCIA FERREIRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DE FONTES E EXTRATORES DE SILÍCIO

Uberlândia

2024

PATRÍCIA FERREIRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DE FONTES E EXTRATORES DE SILÍCIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial do Programa de pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre em agronomia.

Área de concentração: Fertilidade do Solo

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron

Uberlândia

2024

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

O48 2024	<p>Oliveira, Patricia Ferreira de, 1996- Avaliação de fontes e extratores de silício [recurso eletrônico] / Patricia Ferreira de Oliveira. - 2024.</p> <p>Orientador: Hamilton Seron Pereira. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.42 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Agronomia. I. Pereira, Hamilton Seron, 1968-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. III. Título.</p> <p>CDU: 631</p>
-------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

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



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 021/2024, PPGAGRO				
Data:	Doze de dezembro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:00
Matrícula do Discente:	12222AGR008				
Nome do Discente:	Patrícia Ferreira de Oliveira				
Título do Trabalho:	Avaliação de fontes e extratores de silício no solo				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se no anfiteatro do bloco 1BCG, Campus Glória, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Beno Wendling - UFU; Araína Hulmann Batista - UFU; Mônica Sartori de Camargo - APTA; Hamilton Seron Pereira - UFU orientador da candidata.

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

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

Aprovado.

Essa dissertação possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? (X)
SIM NÃO ()

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 12/12/2024, às 16:38, 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 12/12/2024, às 16:39, 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 **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 16/12/2024, às 12:28, 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 **Monica Sartori de Camargo, Usuário Externo**, em 18/12/2024, às 12:54, 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 **5951211** e o código CRC **44640432**.

PATRÍCIA FERREIRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DE FONTES E EXTRATORES DE SILÍCIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial do Programa de pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre em agronomia.

Área de concentração: Fertilidade do Solo

Uberlândia, 29 de novembro de 2024.

Banca Examinadora:

Hamilton Seron Pereira – Doutorado (USP)

Wedisson Oliveira Santos – Doutorado (UFV)

Araína Hulmann Batisa – Doutorado (UFPR)

Mônica Sartori de Camargo – Doutorado (USP)

**Dedico este trabalho ao meu pai e minhas irmãs,
que estiveram ao meu lado em todas as etapas e a
minha mãe, que será eterna em nossos corações.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Genivaldo e Mauriza (*in memorian*), por toda dedicação, cuidado e por priorizarem minha educação.

Às minhas irmãs, Pamela e Paola, por todo apoio e incentivo ao longo da vida.

Aos meus tios, Odair e Kênia, ao meu primo, Felipe, pela contribuição na coleta de solo na cidade de Morrinhos e todos os meus familiares que estiveram presentes nesta jornada.

Aos meus amigos, em especial a Natália, Joyce e Yasmin que me acolheram no retorno a Uberlândia.

Ao professor Hamilton Seron Pereira, pela orientação, paciência e ensinamentos.

Ao João George, técnico do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes e aos técnicos do Laboratório de Análise de Solos, Jéssica, Igor e Rafael, por todo auxílio prestado.

Aos membros do Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura – GPSi, especialmente ao Leonardo Pimenta e Enzo Luigi, pela colaboração na realização do experimento.

À banca examinadora pela participação e contribuição na minha formação.

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Ciências Agrárias e ao Programa de pós-graduação em Agronomia pela oportunidade concedida.

À CAPES - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro.

Toda honra e glória a Deus.

**“A vida me ensinou a nunca desistir
Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir”**
Alexandre Magno Abrão

RESUMO

OLIVEIRA, Patrícia Ferreira de. **Avaliação de fontes e extratores de silício**. 2024. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

O silício (Si) está presente de forma abundante na crosta terrestre e é considerado um elemento benéfico às plantas, sendo absorvido na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). No mercado existem diversos produtos comercializados como fontes de silício. No entanto, é necessário investigar e identificar aquelas que possuem maior potencial em relação ao custo, facilidade de aplicação, teores de Si solúvel, Ca e Mg. Existem vários extratores que avaliam a disponibilidade de Si no solo, mas suas características químicas podem superestimar ou subestimar o real teor do elemento presente no solo. A partir disso, este estudo tem como objetivos avaliar as fontes de Si na produção de massa seca e teor do nutriente nas plantas de arroz (*Oryza sativa*) e avaliar a eficiência dos extratores de Si do solo e sua correlação com o teor do nutriente nas plantas de arroz. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $10 \times 5 \times 5$, sendo dez solos, quatro tratamentos e a testemunha sem Si e cinco extratores químicos. As fontes utilizadas foram wollastonita, fluorita com óxido de silício, diopsita e terra diatomácea, na dose de 200 kg ha^{-1} de Si. Os extratores de Si do solo avaliados foram água, cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$, ácido acético $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$, acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ e acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$. Foram avaliados a massa seca da parte aérea das plantas, o teor do Si vegetal, o Si acumulado pelas plantas, o Si extraído dos solos e a correlação entre o Si presente na planta e o Si disponível nos solos para cada extrator. A produção de massa seca variou entre os tratamentos apenas nos solos 2- PVAd, 9 – LVd e 10 – CXd. O teor de Si vegetal e o Si acumulado foram superiores nos tratamentos com wollastonita e fluorita com óxido de silício. A quantidade de Si extraída pelos extratores foi maior com a utilização de ácido acético e menor com água. A ordem decrescente de correlação foi: acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ ($R^2 = 0,32$) < cloreto de cálcio ($R^2 = 0,27$) < acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ ($R^2 = 0,11$) < ácido acético ($R^2 = 0,10$) < água ($R^2 = 0,04$).

Palavras-chave: Acetato de amônio, ácido acético, análise de solo, *Oryza sativa*

ABSTRACT

OLIVEIRA, Patrícia Ferreira de. **Avaliação de fontes e extratores de silício**. 2024. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

Silicon (Si) is abundantly present in the earth's crust and is considered a beneficial element for plants, being absorbed in the form of monosilicic acid (H_4SiO_4). There are several products on the market that are marketed as silicon sources. However, it is necessary to investigate and identify those with the greatest potential in terms of cost, ease of application, soluble Si, Ca and Mg content. There are several extractors that evaluate the availability of Si in the soil, but their chemical characteristics can overestimate or underestimate the real content of the element present in the soil. The objectives of this study were to evaluate Si sources in terms of dry matter production and nutrient content in rice plants, and to assess the efficiency of Si extractors from the soil and their correlation with the dry matter of rice plants. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, in a $10 \times 5 \times 5$ factorial scheme, with ten soils, four treatments and the control without Si and five chemical extractants. The sources used were wollastonite, fluorite with silicon oxide, diopside and diatomaceous earth, at a dose of 200 kg ha^{-1} of Si. The Si extractants evaluated were water, calcium chloride 0.01 mol dm^{-3} , acetic acid 0.5 mol dm^{-3} , ammonium acetate 0.5 mol dm^{-3} + acetic acid 0.1 mol dm^{-3} and ammonium acetate 0.5 mol dm^{-3} + acetic acid 0.3 mol dm^{-3} . The dry mass of the aerial part of the plants, the plant Si content, the Si accumulated by the plants, the Si extracted from the soils and the correlation between the Si present in the plant and the Si available in the soils for each extractant were evaluated. Dry mass production varied between treatments only in soils 2- PVAd, 9 - LVd and 10 - CXd. Plant Si content and accumulated Si were higher in the treatments with wollastonite and fluorite with silicon oxide. The amount of Si extracted by the extractants was higher with acetic acid and lower with water. The decreasing order of correlation was: ammonium acetate 0.5 mol dm^{-3} + acetic acid 0.3 mol dm^{-3} ($R^2 = 0.32$) < calcium chloride ($R^2 = 0.27$) < ammonium acetate 0.5 mol dm^{-3} + acetic acid 0.1 mol dm^{-3} ($R^2 = 0.11$) < acetic acid ($R^2 = 0.10$) < water ($R^2 = 0.04$).

Keywords: Acetic acid. Ammonium acetate. *Oryza sativa*. Soil analysis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação, classe e procedência das amostras de solos estudadas.	18
Tabela 2 - Caracterização física e química dos solos estudados	18
Tabela 3 - Quantidade de carbonato cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3), e silicato de cálcio e magnésio aplicados aos diferentes solos, nos tratamentos, para elevação da saturação de bases a 70%.	21
Tabela 4 - Resultados da produção de massa seca da parte aérea das plantas de arroz dos dez solos estudados.....	23
Tabela 5 - Teor de Silício na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com quatro fontes de silício e a testemunha sem silício.....	24
Tabela 6 – Silício acumulado na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com quatro fontes de silício e a testemunha sem silício.....	25
Tabela 7 - Silício médio recuperado pelos extratores em dez solos.	26
Tabela 8 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com wollastonita.	27
Tabela 9 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com fluorita..	28
Tabela 10 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com diopsita.	28
Tabela 11 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com terra diatomácea.	29
Tabela 12 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos sem silício.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Casa de vegetação campus Glória e (b) Interior casa de vegetação.	19
Figura 2 – (a) Início da floração das plantas de arroz e (b) colheita do arroz aos 63 dias.	20
Figura 3 – Correlações entre o Si acumulado (mg vaso^{-1}) e o Si solo (mg dm^{-3}) para os cinco extratores analisados.	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS.....	13
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1. Silício no solo	13
3.2. Silício nas plantas	14
3.3. Extratores de silício	15
3.4. Fontes de silício	16
3.5. Cultura do arroz	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1. Solos Utilizados	18
4.2. Descrição do Experimento	18
4.3. Análise da matéria seca.....	20
4.4. Análises do tecido vegetal	20
4.5. Análise do solo.....	22
4.6. Análises Estatísticas.....	22
5. RESULTADOS.....	23
5.1. Produção de massa vegetal	23
5.2. Silício nas plantas	24
5.3. Teor de silício no solo.....	25
5.4. Correlação entre o Si disponível no solo e nas plantas	30
6. DISCUSSÃO.....	32
7. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e um dos principais constituintes das estruturas dos minerais do solo. Entretanto, as ações do intemperismo intensificam os processos de dessilicação do solo. Em função do alto grau de intemperismo, os solos brasileiros apresentam em média cerca de 5 a 40% de Si em suas composições.

Nas plantas, a aplicação de Si resulta em aumento da resistência da parede celular, maior resistência ao acamamento, melhora na arquitetura da planta, folhas mais eretas (redução do auto sombreamento), aumento da taxa fotossintética, resistência das plantas à incidência de doenças e pragas, entre outros benefícios que acarretam no aumento da produtividade. Referência de literatura. O arroz é considerado uma planta acumuladora de Si e apresenta resultados expressivos em comparação com as demais culturas consideradas acumuladoras deste elemento.

Além das fontes naturais, como a casca do arroz, os agregados siderúrgicos (escórias) e os subprodutos da produção do fósforo elementar são utilizados como fontes de Si na agricultura. O uso de fontes oriundas de resíduos industriais possibilita uma destinação adequada para estes resíduos, uma vez que são produzidos em grandes quantidades, reduzindo seu impacto ambiental negativo. Quando a fonte de Si apresenta alto teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) é possível corrigir a acidez do solo.

Ao recomendar um fertilizante é necessário que se tenha o conhecimento dos limites críticos dos nutrientes que o compõe. Para que se possa quantificar o nível de deficiência de um nutriente e o quanto deve ser aplicado para suprir essa deficiência é necessário haver uma metodologia adequada para a extração do nutriente do solo. No Brasil, utiliza-se os extratores cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para extração de Si no solo, porém ambos extratores apresentam limitações em seu uso. O cloreto de cálcio apresenta baixo coeficiente de determinação e o ácido acético superestima os teores de Si no solo, principalmente em solos corrigidos com calcário, prática comum nos solos brasileiros.

Considerando a crescente demanda pelo uso de Si na agricultura, torna-se necessário verificar a eficiência das diversas fontes e buscar extratores mais promissores para a determinação do Si disponível do solo.

2. OBJETIVOS

Avaliar a eficiência de fontes de silício na produção de massa seca e teor do nutriente em plantas de arroz cultivadas em solos de diferentes texturas.

Avaliar os extratores de silício do solo e a sua correlação com o teor de silício na planta.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Silício no solo

O Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (DECHEN et al., 2007), suas principais formas no solo são: Si solúvel (H_4SiO_4 – Ácido monossilícico); Si presente nas estruturas de minerais silicatados; Si adsorvido ou precipitado de ferro, alumínio e manganês; sílica biogênica oriunda da decomposição da matéria orgânica do solo e constituída por formas amorfas ou poliméricas de Si (KORNDORFER; SOUZA, 2018).

A forma prontamente disponível de Si no solo, ácido monossilícico, está presente na solução do solo e advém principalmente da liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), dissociação do ácido silícico polimérico e decomposição de resíduos vegetais, sendo que a ciclagem do Si nos restos culturais de solos intemperizados pode ser considerada a principal fonte de Si para as plantas (KORNDÖRFER; SOUZA, 2018). Entretanto, o teor de Si solúvel e disponível para as plantas pode ser baixo em alguns solos em decorrência principalmente do teor de argila, mineralogia e textura do solo (CAMARGO, 2016).

Apesar da abundância de minerais silicatados nos solos, a deficiência em Si é algo comum, especialmente em solos tropicais, que possuem alto grau de intemperismo, com baixo valor de pH e alta taxa de dessilicação devido a intensa lixiviação (KEEPING, 2017). Em solos tropicais, o Si encontra-se, basicamente, na forma de opala e quartzo. A deficiência de Si em solos também é agravada pelas frequentes colheitas realizadas nas diversas culturas, induzindo a exportação deste elemento das áreas de cultivo (YAN et al., 2018).

Esse elemento depende especificamente do pH do solo, isto é, quanto maior o pH, maior a disponibilidade do elemento no solo, levando, conseqüentemente, à maior absorção pelas plantas (CASTRO; CRUSCIOL, 2013). A aplicação de silicatos no solo resulta em efeitos relacionados a correção da acidez do solo, neutralização do H e Al

tóxicos, além da interação com outros nutrientes, aumentando a concentração dos mesmos na solução, proporcionando maior disponibilidade e absorção pela planta, como é o caso do fósforo (MENEGALE et al., 2015). Os autores também ressaltam que a correção do solo partir de materiais que contenham Si em sua composição é possível desde que estes contenham um “constituente neutralizante” como óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio.

3.2. Silício nas plantas

As plantas são classificadas em três categorias quanto a exigência de silício, há as acumuladoras, as intermediárias e as não acumuladoras (HODSON, 2005). São consideradas plantas acumuladoras de Si aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras plantas com teor de silício menor que 0,5% (MA et al., 2001). O Si disponível para as plantas é encontrado no solo na forma de ácido monossilísico (H_4SiO_4) e, uma vez absorvido, ele é acumulado principalmente na parede das células da epiderme das folhas (FERREIRA, 2017).

Podemos relacionar a presença do Si nas plantas à maior resistência ao acamamento, diminuição do ataque por pragas e doenças (por conta de alterações na anatomia da planta, como a formação de células epidérmicas mais grossas e maior grau de lignificação e/ou silicificação), maior resistência a condições adversas, causadas por situações de estresse biótico e abiótico (MALAVOLTA, 2006).

Em estudo com a cultura do pepino, Alcantra et al. (2021), observaram resposta positiva à adubação com Si, obtendo maiores valores para a altura das plantas, diâmetro vertical de fruto e peso médio de frutos em comparação às plantas que não receberam adubação silicatada.

Dan Tatagiba et al. (2024) concluíram que o fornecimento de Si via foliar em condições de adequada disponibilidade hídrica no substrato beneficiou o crescimento vegetativo do feijoeiro proporcionando maior matéria seca e área foliar, além disso a presença de Si também contribuiu para a atenuação do déficit hídrico, melhorando o crescimento e rendimento do feijoeiro quando comparado com as plantas onde não foi fornecido o elemento.

O Si é considerado o único elemento que quando absorvido em excesso pelas plantas não acarreta prejuízos no seu desenvolvimento (CAMARGO, 2016). De acordo com Etesami; Joeng (2018), o silício em excesso não é prejudicial, corrosivo ou poluente

para as plantas, tornando o uso de fertilizantes a base de silício uma técnica sustentável, capaz de estimular o crescimento vegetal e aliviar os estresses.

3.3. Cultura do arroz

O arroz é alimento básico de 84% da população brasileira e de mais de 30% da população mundial (CARVALHO et al., 2020). Estima-se um aumento de 9,9% na área semeada de arroz para o ciclo 2024/25, a alta é verificada em todas as regiões do país, com destaque para o Centro-Oeste e Sudeste (CONAB, 2024). O arroz de terras altas representa 4% da área de produção de arroz mundial e no Brasil, a maior parte das lavouras está concentrada no bioma Cerrado (OLIVEIRA NETO, 2015).

O arroz é considerado uma espécie acumuladora de Si (10% em massa seca da parte aérea), na qual o alto teor demonstrou ser necessário para o crescimento saudável e produção elevada e estável (LANNA, 2021). No arroz, níveis de Si podem exceder outros nutrientes minerais, incluindo o nitrogênio (EPSTEIN; BLOMM, 2006).

Em estudo para verificar o efeito da aplicação de Wollastonita como fonte de silício na cultura do arroz de sequeiro, Barbosa Filho et al. (2001) notaram que a aplicação dessa fonte contribui para um aumento linear do rendimento de grãos e acúmulo de silício, também houve incremento no pH, aumento dos teores de Ca, Mg e Si na solução do solo.

Freitas et al. (2017) conduziram um experimento em solução nutritiva utilizando silicato de potássio com o objetivo de verificar o efeito do Si na redução da toxicidade por alumínio em plantas de arroz de terras altas e observaram que o Si reduziu o efeito de toxidez por alumínio no arroz e notaram aumento no crescimento das plantas de arroz mesmo na presença do alumínio.

3.4. Extratores de silício

O maior problema ligado à seleção de metodologia analítica para avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo, reside na escolha do extrator adequado. A seleção de determinado extrator deve levar em consideração a sua praticidade para ser utilizada em laboratório, bem como apresentar adequada correlação dos teores encontrados no solo com o absorvido pelas plantas (BABU et al., 2018).

A finalidade de um extrator é assemelhar-se o máximo possível com a solução do solo, a fim de simular a capacidade da mesma de solubilizar determinado nutriente, extraído da fonte, e fazendo com que a quantidade extraída esteja realmente relacionada com a quantidade disponível do nutriente que pode ser absorvida pelas plantas (NOVAIS

et al., 2007). No caso dos micronutrientes a avaliação de um determinado extrator torna-se mais difícil em razão dos baixos teores encontrados no solo e dos mecanismos envolvidos nas reações de disponibilidade.

Vários métodos para análise de Si vêm sendo propostos, mas estes métodos de extração, frequentemente, falham na estimativa da quantidade de Si disponível para as plantas. A grande variação que se tem na extração do Si se deve principalmente a dissolução de formas que são indisponíveis às plantas e que estão presentes no solo, fatores como pH do extrator utilizado aliado a relação do solo e solução em conjunto com o tempo de agitação também interferem na extração do elemento (SAUER et al., 2006). Assim como a textura do solo pode ter influência na extração de silício, em solos de textura argilosa os teores de silício são maiores do que em solos de textura arenosa (NOLLA et al., 2012).

No Brasil, utiliza-se os extratores cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (KORNDORFER et al., 2004) para a determinação do Si no solo.

O cloreto de cálcio apresenta baixo coeficiente de determinação, pois a menor concentração de Si na solução pode acarretar erros de leitura e determinação do Si (KORNDORFER et al., 1999). O ácido acético superestima o teor de Si nos solos, principalmente nos corrigidos com calcário e naqueles que receberam a aplicação de fontes ricas em aluminossilicatos como as escórias de alto-forno (PEREIRA et al., 2004). Pereira et al. (2003) constatou que o ácido acético extraiu grandes quantidades de Si em fontes de baixa solubilidade, reduzindo a confiabilidade do extrator.

Novas técnicas de extratores do solo e novos estudos relacionando a eficiência da aplicação do Si com fenômenos ecofisiológicos das culturas devem ser estimulados, visando quantificar e compreender melhor como um elemento tido como não essencial para as culturas, consegue afetar de tantas maneiras as culturas, resultando em ganhos reais de produtividade de diversas culturas, sejam elas acumuladoras de Si ou não (MENEGALE et al., 2015).

3.5. Fontes de silício

Diversas fontes podem ser utilizadas como fonte de Si para as plantas, dentre estas se destaca aquelas aplicadas aos solos em pó ou granulado, na forma de silicatos de Ca e de Mg, ou ainda na forma líquida, utilizados na aplicação foliar, como o silicato de potássio (KORNDORFER, SOUZA, 2018). O silicato pode ser utilizado como fertilizante para auxiliar no fornecimento de cálcio, magnésio e silício, e ainda pode ser

utilizado como corretivo de acidez do solo e contribuir no manejo integrado de pragas, principalmente pela indução de resistência às plantas (RODRIGUES et al., 2011).

A terra diatomácea é um pó originário de algas diatomáceas de água doce ou marinha, rico em Si e utilizada, principalmente para o controle de pragas de grãos armazenados. Informações sobre o uso da terra diatomácea como fertilizante na agricultura são escassas. Santos et al. (2020) desenvolveram um experimento com objetivo de avaliar a influência da incorporação de terra diatomácea ao substrato destinado a produção de Brassicaceae e concluíram que o uso da terra diatomácea não foi eficiente para a produção de mudas de couve manteiga e brócolis.

Para o fornecimento de Si, podem ser utilizados resíduos vegetais (casca de arroz e bagaço de cana) ou as cinzas obtidas da queima dos mesmos para geração de vapor. Entretanto, estas fontes são de liberação lenta no solo e insuficientes para atender à demanda por Si na agricultura. Por outro lado, subprodutos da indústria do ferro gusa e do aço, que são as escórias de siderurgia ricas em Si, podem atender essa demanda de forma mais rápida (LINNÉ et al, 2022).

Dentre os subprodutos gerados pelas indústrias, destacam-se os agregados siderúrgicos e subprodutos da produção do fósforo elementar, como a fluorita com óxido de silício. Alguns destes subprodutos contêm em sua composição nutrientes como Ca, Mg e Si, sendo estes capazes de proporcionar a correção da acidez do solo (CORREA et al., 2007).

As características consideradas ideais para uma fonte de silício são: alta fonte de Si-solúvel, boas propriedades físicas, facilidade de aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, boa relação e qualidades de cálcio e magnésio, baixa concentração de metais pesados e baixo custo (VILELA, 2009). Ressalta-se também que a resposta da planta à fertilização silicatada depende, em grande parte, da disponibilidade e da capacidade de fornecimento de Si no solo, impactada principalmente pelo teor disponível nos fertilizantes, pH, conteúdo de matéria orgânica, taxas de aplicação de fertilizantes minerais, dentre outros fatores edáficos e/ou ambientais (Liang et al., 1994; Savant et al., 1996; Park, 2001; Wang et al., 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Solos Utilizados

Amostras de dez de solos, com variações no teor de argila, foram coletadas em diferentes áreas localizadas próximas ao município de Uberlândia - MG, Itumbiara - GO, e Catanduva - SP, a uma profundidade de 0 a 40 cm para diminuir o efeito da matéria orgânica e resíduos de fertilizantes (Tabela 1). Após coletados, os solos foram secos ao ar e passados em peneira de 4 mm para instalação do experimento e peneira de 2 mm para realização das análises químicas e físicas. As análises para caracterização dos solos foram realizadas adotando-se os métodos propostos pela Embrapa (SILVA, 1999) e Raij et al (2001) (Tabela 2).

Tabela 1- Identificação, classe e procedência das amostras de solos estudadas.

Solo	Classe de Solo	Procedência
1 – RQo	Neossolo Quartzarênico órtico	Uberlândia
2 – PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	Catanduva
3 – Rqo	Neossolo Quartzarênico órtico	Uberlândia
4 – LVd	Latossolo Vermelho distrófico	Uberlândia
5 – LVAd	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Morrinhos
6 – LVd	Latossolo Vermelho distrófico	Uberlândia
7 – LVd	Latossolo Vermelho distrófico	Itumbiara
8 – LVd	Latossolo Vermelho distrófico	Uberlândia
9 – LVd	Latossolo Vermelho distrófico	Uberlândia
10 – CXd	Cambissolo Háplico distrófico	Uberlândia

Tabela 2 - Caracterização física e química dos solos estudados

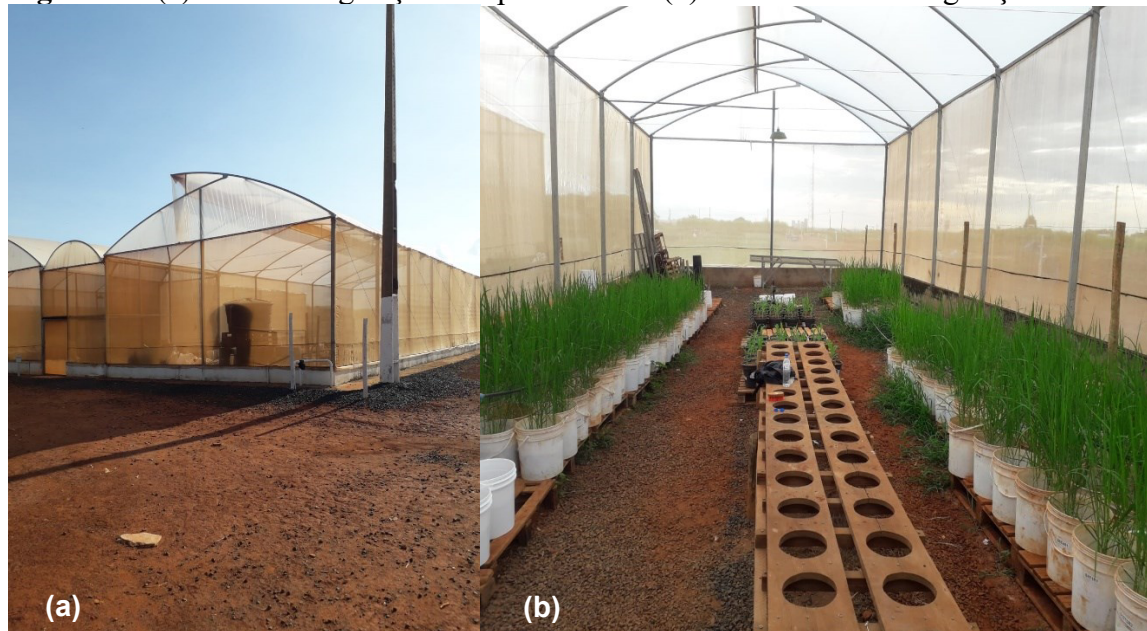
Característica	Solo									
	1-RQo	2-PVAd	3-RQo	4-LVd	5-LVAd	6-LVd	7-LVd	8-LVd	9-LVd	10-CXd
Argila (g kg ⁻¹)	51	124	134	192	293	336	381	456	583	623
Silte (g kg ⁻¹)	40	19	15	74	92	150	390	386	236	215
Areia fina (g kg ⁻¹)	354	653	353	457	351	248	89	48	106	116
Areia grossa (g kg ⁻¹)	555	204	498	277	264	266	140	110	75,0	46
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	6,1	10,3	7,7	12,4	13,8	33,5	18,1	7,5	11,1	8,8
pH (CaCl ₂)	4,9	4,9	4,5	4,2	4,8	5,1	5,4	5,1	5,0	4,8
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,5	1,1	0,1	0,5	1,3	1,9	0,9	0,4	1,2	0,6
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,7	0,1	0,2	0,5	2,2	0,5	0,2	0,1	0,1
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	1,3	1,0	1,9	1,9	3,2	0,5	2,6	1,3	2,8	2,2
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,0	0,5	0,3	0,5	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1
K (mg dm ⁻³)	9,9	65,5	5,8	88,3	194,3	90,3	5,8	42,7	5,8	5,8
P (mehlich) (mg dm ⁻³)	2,9	9,5	2,5	0,3	8,1	2,0	2,3	1,5	1,6	2,0
CTC (cmol _c dm ⁻³)	1,9	3,0	2,1	2,9	5,5	4,9	4,0	2,0	4,0	2,9
Saturação de Bases (%)	30,7	67,9	10,0	33,2	41,9	90,0	35,2	34,4	31,3	25,7

4.2. Descrição do Experimento

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Glória, com quatro fontes de silício (wollastonita, fluorita com óxido de silício, diopsita e terra diatomácea) e uma testemunha sem silício. Os tratamentos foram repetidos nos dez distintos solos coletados,

perfazendo um total de 5 tratamentos com quatro repetições o que resulta cada tipo de solo com vinte vasos, obtido um total de duzentas unidades experimentais (fatorial 5 x 10). Cada vaso comporta 10 kg de solo.

Figura 1 – (a) Casa de vegetação campus Glória e (b) Interior casa de vegetação.



Fonte: A autora, 2024.

Inicialmente foram aplicados ao solo os carbonatos de cálcio e magnésio e os silicatos, com o intuito de elevar a saturação de bases a 70%, e a relação final de cálcio/magnésio 3/1 (Tabela 3). Depois o solo foi homogeneizado e incubado por trinta dias. Após a incubação foi aplicado o fósforo na forma de superfosfato triplo (39% de P_2O_5), nas doses de 400 mg por vaso e cloreto de cálcio (60% K_2O) na dose de 300 mg por vaso. O plantio foi realizado com 15 sementes em cada vaso. No 15º dia após a emergência foi realizado o desbaste deixando seis plantas por vaso. A partir desse estágio foram fornecidas quantidades suficientes de N, K, Zn, Mn, B, Mo, Cu e S na forma de solução nutritiva para manter o desenvolvimento das plantas. Os vasos receberam irrigação suficiente para manter a capacidade de campo em 80%.

O experimento foi conduzido até o início da floração das plantas de arroz, quando então foram ceifadas rente ao solo para análise de matéria seca. O tempo total de experimentação foi de aproximadamente cinco meses, e o tempo de cultivo do arroz foi de cerca de 60 dias, tempo para atingir o ponto de colheita.

Figura 2 – (a) Início da floração das plantas de arroz e (b) colheita do arroz aos 63 dias.



Fonte: A autora, 2024.

4.3. Análise da matéria seca

Após coletado, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e levados à estufa, onde permanecerão a uma temperatura de 60 °C até atingirem peso constante, quando então foram retiradas e determinadas as matérias secas, pesando-se o material em balança com aproximação de 0,01 g. Após essa etapa as folhas foram moídas em moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20 mesh, e acondicionadas em embalagens plásticas para posterior análise.

4.4. Análises do tecido vegetal

Nas folhas de arroz, a extração do silício ocorreu pesando-se 0,1g do material vegetal em tubos de ensaio e extraídos através da digestão alcalina, utilizando hidróxido de sódio (NaOH) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), em autoclave, seguida por quantificação através de método colorimétrico.

Tabela 3- Quantidade de carbonato cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3), e silicato de cálcio e magnésio aplicados aos diferentes solos, nos tratamentos, para elevação da saturação de bases a 70%.

Solos	Tratamento 1			Tratamento 2			Tratamento 3			Tratamento 4			Tratamento 5	
	Wollastonit a (silicato de cálcio)	CaCO_3	MgCO_3	Silicato de cálcio e magnésio	CaCO_3	MgCO_3	Silicato de cálcio e magnésio	CaCO_3	MgCO_3	Silicato de cálcio e magnésio	CaCO_3	MgCO_3	CaCO_3	MgCO_3
					-----mg vaso ⁻¹ -----									
1 – RQo	4262	3046	5577	13698	4050	5577	4115	6104	5577	2538	6232	5577	6275	5577
2-PVAd	4262	664	4805	13698	1669	4805	4115	3723	4805	2538	3851	4805	3894	4805
3 – RQo	4262	4781	5634	13698	5785	5634	4115	7839	5634	2538	7967	5634	8011	5634
4 – LVd	4262	3714	4805	13698	4718	4805	4115	6773	4805	2538	6901	4805	6944	4805
5 -LVAd	4262	2315	2759	13698	3319	2759	4115	5373	2759	2538	5501	2759	5542	2759
6 – LVd	4262	2020	00	13698	3024	0	4115	5078	00	2538	5206	0	5250	0
7 – LVd	4262	3368	3246	13698	4372	3246	4115	6426	3246	2538	6554	3246	6598	3246
8 – LVd	4262	3826	5105	13698	4830	5105	4115	6885	5105	2538	7013	5105	7056	5105
9 – LVd	4262	0	5405	13698	942	5405	4115	2997	5405	2538	3125	5405	3168	5405
10 -CXd	4262	2310	5519	13698	3314	5519	4115	5368	5519	2538	5496	5519	5540	5519

* Os tratamentos foram balanceados relacionando a quantidade de cálcio e magnésio requeridas e os teores fornecidos pelos componentes dos tratamentos.

4.5. Análise do solo

Foram utilizados 5 extratores para a análise de silício no solo.

- **Extração em água:** 5 g de solo com 50 cm³ de água destilada foi agitada por 1 hora;
- **Extração em cloreto de cálcio 0,01 mol dm⁻³:** 5 g de solo foi agitada com 50 cm³ de uma solução de CaCl₂ 0,01 mol dm⁻³ por 1 hora;
- **Extração em ácido acético 0,5 mol dm⁻³:** 5 g de solo foi agitada com 50 cm³ de uma solução de ácido acético 0,5 mol dm⁻³ por 1 hora;
- **Extração em acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³:** 5 g de solo foi agitada com 50 cm³ da solução de acetato de amônio + ácido acético por 1 hora;
- **Extração em acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³:** 5 g de solo foi agitada com 50 cm³ da solução acetato de amônio + ácido acético por 1 hora.

Após a agitação, as amostras foram filtradas e ficaram em repouso por 16 horas.

Em seguida, foi retirada uma alíquota de 10 mL do extrato e adicionado 1 mL de solução sulfo-molíbdica. Após 10 minutos, foi adicionado 2 mL de ácido tartárico e decorridos cinco minutos foi adicionado 10 mL de ácido ascórbico. Para os extratores compostos por acetato de amônio + ácido acético foi necessário adicionar 1 mL de ácido clorídrico 2% para correção do pH da solução filtrada. Após 1 hora da adição do ácido ascórbico, foi realizada a leitura em Espectrofotômetro UV-Visível no comprimento de onda de 660 nm.

4.6. Análises Estatísticas

De posse dos resultados de análises de solo e de matéria seca e de teores de silício acumulados pelas folhas de arroz, foi realizada a análise estatística dos dados no programa

RStudio. Para a comparação dos tipos de solos e das fontes de silício, foram realizadas análise de variância e quando significativo aplicado o teste de Tukey a 5% de significância.

5. RESULTADOS

5.1. Produção de massa vegetal

Em relação a produção de massa seca da parte aérea (Tabela 4), o solo 2-PVAd apresentou melhor resposta aos tratamentos com silício. Todos os tratamentos apresentaram valores superiores significativamente aos da testemunha, com destaque para o uso de Terra Diatomácea que apresentou a produção de 28,9 g. A utilização de Diopsita no solo 9-LVd apresentou o maior valor 30,6 g, diferenciando dos demais tratamentos. O solo 10-CXd apresentou variação significativa na produção de matéria seca, entretanto o uso de Terra Diatomácea resultou em valores inferiores ao tratamento sem silício, tendo em média 15,9 g. Os demais solos não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Os solos 7 – LVd e 9 – LVd apresentaram melhor resposta ao tratamento com diopsita, obtendo 30,7 g e 30,6 g respectivamente. Apesar de ser da mesma classe que os solos citados anteriormente, o solo 8 – LVd obteve a menor média entre os solos para este tratamento. Considerando a média dos dez solos estudados, os tratamentos não se diferenciaram em relação a massa seca da parte aérea das plantas de arroz.

Tabela 4 - Resultados da produção de massa seca da parte aérea das plantas de arroz dos dez solos estudados.

Tipo de Solo	Tratamentos									
	Wollastonita		Fluorita		Diopsita		T Dm		Testemunha	
-----Matéria Seca do Arroz (g)-----										
1 - RQo	23,0	A	24,2	A	25,6	A abc	24,2	A a	22,6	A
2 - PVAd	28,3	AB	24,1	ABC	21,4	BC bc	28,9	A a	20,4	C
3 - RQo	25,6	A	22,9	A	25,5	A abc	24,5	A a	25,1	A
4 - LVd	28,5	A	25,1	A	24,2	A abc	25,1	A a	22,6	A
5 - LVAd	24,9	A	27,9	A	28,7	A ab	23,2	A ab	24,3	A
6 - LVd	25,1	A	25,2	A	21,6	A bc	25,6	A a	21,4	A
7 - LVd	27,0	A	25,4	A	30,7	A a	25,1	A a	25,7	A
8 - LVd	22,8	A	23,8	A	20,6	A c	25,0	A a	23,1	A
9 - LVd	21,9	B	25,4	AB	30,6	A a	23,2	B ab	24,4	AB
10 - CXd	23,6	A	22,1	AB	22,7	AB abc	15,9	B b	25,2	A
Média	25,1	A	24,7	A	25,2	A	24,1	A	23,4	A
CV = 14,5%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. T Dm = Terra diatomácea.

5.2. Silício nas plantas

O teor de Si na parte aérea das plantas de arroz (Tabela 5) foi maior no tratamento com Wollastonita em todos os solos. O solo 2 - PVAd apresentou menor teor no tratamento com terra diatomácea. A terra diatomácea forneceu menos silício para as plantas em todos os solos, exceto o 10 – CXd (onde não houve diferença significativa entre os tratamentos), indicando ser uma fonte de baixa liberação. O solo 1 - RQo apresentou baixos teores de Si no tecido vegetal em todos os tratamentos em relação aos outros solos estudados, o que era esperado, por se tratar de um solo com baixo teor de argila. Considerando a média de todos os solos, os tratamentos com wollastonita e fluorita com óxido de silício forneceram mais Si para as plantas 14,8 g kg⁻¹ e 13,6 g kg⁻¹ respectivamente. A diopsita obteve valor semelhante a testemunha (10,5 g kg⁻¹ de Si). Já para a terra diatomácea, o teor de Si no tecido vegetal foi igual ao da testemunha, sendo de 10,0 g kg⁻¹.

Tabela 5 - Teor de Silício na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com quatro fontes de silício e a testemunha sem silício.

Tipo de Solo	Tratamentos				
	Wollastonita	Fluorita	Diopsita	T Dm	Testemunha
	-----Silício no tecido vegetal (g kg ⁻¹)-----				
1 - RQo	10,3 A c	9,6 AB d	7,5 AB c	6,1 B de	6,1 B d
2 - PVAd	15,0 A ab	14,7 AB abc	13,2 ABC a	10,4 C bcd	10,9 BC bc
3 - RQo	15,0 A ab	13,7 AB abcd	10,0 B abc	11,2 AB bc	11,3 AB bc
4 - LVd	13,0 A bc	12,7 A bcd	8,4 B bc	8,4 B cde	8,2 B cd
5 - LVAd	14,5 A bc	11,3 AB bcd	8,4 B bc	8,2 B cde	7,9 B cd
6 - LVd	16,1 AB ab	17,3 A a	13,3 BC a	11,8 C abc	9,4 C bcd
7 - LVd	19,5 A a	17,3 AB a	13,7 B a	15,8 AB a	15,9 AB a
8 - LVd	14,6 A bc	12,6 A bcd	6,7 B c	5,2 B e	8,0 B cd
9 - LVd	15,7 A ab	11,3 B cd	10,6 B abc	9,6 B bcde	8,5 B cd
10 - CXd	14,1 A bc	15,8 A ab	12,6 A ab	13,0 A ab	13,1 A ab
Média	14,8 A	13,6 A	10,5 B	10,0 B	10,0 B
CV = 16,9%					

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. T Dm = terra diatomácea

Todos os solos estudados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para o Si acumulado na parte aérea das plantas (Tabela 6), exceto o solo 1-RQo. Os tratamentos com wollastonita e fluorita promoveram maior acúmulo de Si na parte aérea das plantas de arroz para todos os solos. O solo 7 apresentou maior acúmulo de Si em relação aos demais solos em todos os tratamentos, por sua vez, o solo 1-RQo acumulou os menores valores. Analisando a média dos dez solos estudados, o Si acumulado foi superior para os tratamentos com wollastonita e fluorita com óxido de

silício. O uso de diopsita e terra diatomácea não se diferenciaram da testemunha.

Tabela 6 – Silício acumulado na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com quatro fontes de silício e a testemunha sem silício.

Tipo de Solo	Tratamentos									
	Wollastonita		Fluorita		Diopsita		T Dm		Testemunha	
	-----Silício Acumulado (mg vaso ⁻¹)-----									
1 – RQo	233,4	A c	232,7	A b	198,9	A bc	147,9	A cd	139,2	A d
2 - PVAd	425,4	A ab	354,4	AB ab	279,7	BC b	304,1	BC ab	225,2	C bcd
3 – RQo	383,9	A b	311,7	AB ab	254,9	B bc	274,9	AB abc	278,6	AB abc
4 – LVd	367,1	A b	314,4	AB ab	201,8	BC bc	211,7	BC bcd	189,1	C cd
5 - LVAd	361,8	A bc	321,1	AB ab	247,0	BC bc	191,6	C bcd	197,2	C cd
6 - LVd	405,9	AB ab	433,6	A a	290,5	C b	305,3	BC ab	202,7	C bcd
7 – LVd	524,4	A a	437,5	AB a	422,3	AB a	397,1	B a	409,9	B a
8 – LVd	336,5	A bc	302,1	A b	136,8	B c	132,1	B d	185,8	B cd
9 – LVd	341,7	A bc	282,7	AB b	316,4	AB ab	221,6	BC bcd	201,9	C bcd
10 - CXd	315,1	AB bc	352,3	A ab	288,4	AB b	207,7	B bcd	329,7	A ab
Média	369,5	A	334,3	A	263,7	B	239,4	B	236,0	B
CV = 20,0%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. T Dm = terra diatomácea

5.3. Teor de silício no solo

O Si médio recuperado pelos extratores levando em consideração todos os tratamentos (Tabela 7) foi maior utilizando o ácido acético em todos os solos, exceto nos solos 8 e 10, onde a combinação de acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ como extrator apresentou os maiores valores. Para o solo 7-LVd a média obtida pelos extratores citados anteriormente não se diferiram significativamente e também apresentaram valores superiores aos demais extratores testados. Na média dos dez solos estudados, o ácido acético foi o extrator que mais extraiu Si, seguido pelo acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³. A combinação de acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ e o cloreto de cálcio apresentaram a média semelhante, não se diferenciando. O uso da água como solução extratora resultou em menor extração.

Tabela 7 - Silício médio recuperado pelos extratores em dez solos.

Tipo de Solo	Extratores									
	Cloreto		Á. acético		Água		Ext1		Ext2	
	-----Silício Solo (mg dm ⁻³)-----									
1 – RQo	2,0	BC d	6,9	A f	3,9	B bc	1,5	C e	2,0	BC e
2 - PVAd	4,3	B bc	13,9	A abc	1,4	C d	5,3	B b	6,0	B cd
3 – RQo	3,1	C cd	11,0	A de	1,3	C d	2,7	C de	6,5	B c
4 – LVd	4,0	B bcd	12,8	A bcd	1,4	C d	3,9	B bcd	5,6	B cd
5 - LVAd	5,7	C b	15,2	A a	9,1	B a	2,9	D cde	4,2	CD de
6 – LVd	5,6	B b	15,9	A a	1,0	C d	5,0	B bc	5,9	B cd
7 – LVd	8,3	B a	11,9	A cd	1,7	C cd	9,7	B a	12,8	A a
8 – LVd	5,5	B b	7,0	B f	2,5	C bcd	10,9	A a	9,7	A b
9 – LVd	4,4	BC bc	14,9	A ab	4,5	BC b	3,2	C bcde	5,8	B cd
10 - CXd	2,9	C cd	9,4	B e	4,0	C b	9,7	B a	14,0	A a
Média	4,6	C	11,9	A	3,1	D	5,5	C	7,3	B
CV = 34,2%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. Ext 1 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ Ext 2 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³

Ao considerar apenas as amostras tratadas com wollastonita (Tabela 8), o ácido acético apresenta valores de Si médio recuperado superiores para os solos 2-PVAd, 5-LVAd, 6-LVd e 9-LVd. Para o solo 8-LVd destaca-se o uso do extrator acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³. Para os solos 3-RQo e 4-LVd, os resultados obtidos pelo extrator acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ não se diferenciaram do ácido acético, sendo superior aos demais extratores. Os solos 7-LVd e 9-LVd não apresentaram diferença significativo nos valores de Si do solo para os extratores acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³, acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ e ácido acético.

O uso da água como extrator apresentou valor intermediário para os solos 1-RQo e 5-LVAd, situação contrária à dos outros solos, onde o uso da água acarretou em baixos valores de Si extraído do solo. Considerando a média dos dez solos estudados, a ordem decrescente de extração foi: ácido acético < acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ < acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ < cloreto de cálcio e água.

Tabela 8 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com wollastonita.

Tipo de Solo	Extratores									
	Cloreto		Á. acético		Água		Ext1		Ext2	
	-----Silício Solo (mg dm ⁻³)-----									
1 – RQo	2,8	B b	8,7	A b	5,2	AB ab	2,7	B d	3,0	B d
2 - PVAd	5,1	B ab	15,2	A a	3,3	B b	4,1	B cd	5,2	B cd
3 – RQo	5,1	B ab	12,6	A a	1,9	B b	3,5	B d	10,5	A abc
4 – LVd	4,5	B ab	11,0	A ab	0,7	B b	4,3	B cd	9,2	A abc
5 - LVAd	6,9	BC ab	15,6	A a	10,4	B a	3,6	C d	3,7	C d
6 - LVd	5,9	B ab	14,7	A a	2,3	B b	3,9	B cd	6,5	B bcd
7 – LVd	9,4	B a	13,4	A ab	4,5	B b	9,5	A bc	13,9	A a
8 – LVd	9,9	B a	10,9	AB ab	4,8	C b	15,5	A a	12,7	AB a
9 – LVd	7,1	B ab	16,3	A a	5,3	B ab	6,2	B cd	9,4	B abc
10 - CXd	3,2	B b	13,9	A ab	5,4	B ab	14,1	A ab	11,3	A ab
Média	6,0	C	13,2	A	4,4	C	6,7	BC	8,5	B
CV = 30,9%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. Ext 1 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ Ext 2 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³

O ácido acético extraiu mais Si em todos os solos para o tratamento com fluorita (Tabela 9), exceto os solos 8-LVd e 10-CXd em que os extratores acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ e acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ apresentaram valores superiores. Para o solo 7-LVd, o extrator acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ obteve a maior quantidade de Si extraída, o ácido acético e o acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ extraíram valores semelhantes e intermediários. Considerando a média dos dez solos estudados, a ordem decrescente de extração foi: ácido acético < acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ < acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ < cloreto de cálcio e água.

Considerando o tratamento com diopsita (Tabela 10), o ácido acético foi o extrator com maiores valores de Si recuperado, exceto para os solos 8-LVd e 10-CXd, em que os extratores que mais recuperaram Si foram o acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ e o acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³.

O uso de cloreto de cálcio resultou em valores intermediários de Si recuperado para os solos 2-PVAd, 6-LVd, 7-LVd e 8-LVd. O uso da água como solução extratora apresentou média inferior aos outros extratores utilizados, exceto para o solo 5-LVAd, em que o valor foi intermediário, sendo superior a quantidade extraída pelo cloreto de cálcio e pelos extratores combinados de acetato de amônio e ácido acético. Considerando

a média dos dez solos estudados, a ordem decrescente de extração foi: ácido acético < acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ < acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ < cloreto de cálcio e água.

Tabela 9 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com fluorita.

Tipo de Solo	Extratores									
	Cloreto		Á. acético		Água		Ext1		Ext2	
	-----Silício Solo (mg dm ⁻³)-----									
1 – Rqo	2,1	B c	6,4	A d	4,4	AB bc	1,5	B c	2,7	AB e
2 - PVAd	5,6	C abc	16,9	A ab	1,8	D bc	5,9	C bc	10,2	B bc
3 – Rqo	3,7	C bc	14,4	A abc	2,0	C bc	4,4	C bc	10,2	B bc
4 – LVd	4,8	B abc	17,4	A a	0,9	C c	5,1	B bc	7,8	B cd
5 - LVAd	5,7	C abc	14,7	A abc	9,6	B a	3,1	C bc	5,4	C de
6 - LVd	6,7	B ab	17,4	A a	2,7	C bc	6,6	B b	8,4	B cd
7 – LVd	8,5	B a	11,7	AB c	1,8	C bc	11,3	AB a	14,3	A ab
8 – LVd	5,7	B abc	6,9	B d	1,0	C c	14,5	A a	14,7	A a
9 – LVd	4,1	B bc	12,8	A bc	5,4	B ab	2,7	B bc	6,1	B cde
10 - CXd	2,7	C bc	11,9	B c	4,6	C bc	13,4	AB a	16,5	A a
Média	5,0	CD	13,1	A	3,4	D	6,8	C	9,6	B
CV = 25.4%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. Ext 1 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ Ext 2 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³

Tabela 10 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com diopsita.

Tipo de Solo	Extratores									
	Cloreto		Á. acético		Água		Ext1		Ext2	
	-----Silício Solo (mg dm ⁻³)-----									
1 – RQo	1,7	B c	6,6	A d	3,1	B bcd	1,7	B d	1,8	B f
2 - PVAd	2,7	C bc	12,8	A bc	0,5	C d	6,9	B b	9,4	B abc
3 – RQo	2,6	B bc	11,2	A c	1,4	B bcd	2,5	B cd	3,8	B ef
4 – LVd	4,7	B abc	13,2	A abc	1,7	B bcd	2,9	BC cd	3,9	BC def
5 - LVAd	5,4	C ab	15,0	A ab	9,5	B a	2,5	D cd	4,8	CD def
6 - LVd	4,8	B abc	16,0	A a	0,9	C cd	5,1	B bc	6,4	B cde
7 – LVd	6,8	B a	10,4	A c	2,9	C bcd	7,9	AB b	9,9	A ab
8 – LVd	5,7	AB ab	5,9	AB d	4,1	B bc	8,1	A ab	7,0	A bcd
9 – LVd	4,5	B abc	15,2	A ab	3,4	B bcd	2,2	B cd	4,8	B def
10 - CXd	3,7	C bc	7,2	B d	4,3	C b	11,1	A a	12,4	A a
Média	4,2	CD	11,3	A	3,2	D	5,1	BC	6,4	B
CV = 22,8%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. Ext 1 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ Ext 2 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³

O uso do ácido acético resultou em valores mais altos de Si recuperado para todos os solos quando utilizada a terra diatomácea (Tabela 11) como fonte de Si. Para os solos 10-CXd o uso de acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ resultou

em valores superiores de Si aos obtidos pelos demais extratores. Para o solo 7-LVd, a quantidade de Si médio extraída do solo utilizando os extratores ácido acético e acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ apresentaram valores semelhantes e não se diferiram estatisticamente. O uso do acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ resultou em maior quantidade de Si médio recuperado para o solo 8-LVd. Em comparação com os outros extratores, o cloreto de cálcio e a água apresentaram baixos valores de Si recuperado para os solos, exceto para o solo 5 – LVAd, onde a quantidade extraída pela água foi superior aos extratores combinados de acetato de amônio e ácido acético.

Tabela 11 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos tratados com terra diatomácea.

Tipo de Solo	Extratores									
	Cloreto		Á. acético		Água		Ext1		Ext2	
	-----Silício Solo (mg dm ⁻³)-----									
1 – RQo	2,3	B c	8,4	A d	4,7	B bc	1,8	B d	1,7	B d
2 - PVAd	4,7	B bc	16,7	A a	1,4	C c	5,0	B bcd	2,4	BC cd
3 – RQo	2,2	BC c	9,2	A cd	1,4	C c	2,8	BC cd	5,4	B bcd
4 – LVd	3,6	B bc	12,4	A bc	2,8	B bc	2,8	B cd	3,6	B bcd
5 - LVAd	5,4	C abc	15,2	A ab	8,8	B a	2,7	C cd	3,5	C bcd
6 - LVd	6,4	B ab	15,3	A ab	1,8	C c	5,1	B bcd	5,6	B bc
7 – LVd	9,1	B a	13,6	A ab	4,1	C bc	11,1	B a	13,1	A a
8 – LVd	4,4	BC bc	5,8	ABC d	2,9	C bc	7,9	A ab	7,2	AB b
9 – LVd	4,1	B bc	15,3	A ab	5,6	B ab	2,8	B cd	4,2	B bcd
10 - CXd	1,9	D c	8,5	B d	2,9	CD bc	6,2	BC bc	14,0	A a
Média	4,4	BC	12,0	A	3,6	C	4,8	BC	6,1	B
CV = 27,1%										

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. Ext 1 = acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ Ext 2 = acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$

Analisando somente as amostras que não receberam o tratamento com Si, a ordem de extração se manteve: ácido acético < acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ < acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ < cloreto de cálcio < água. O uso do ácido acético resultou em valores intermediários de Si recuperado nos solos 7-LVd, 8-LVd e 10-CXd. Para os outros solos, ele se manteve como o extrator que mais recuperou Si.

Tabela 12 - Silício médio recuperado pelos extratores nos solos sem silício.

Tipo de Solo	Extratores									
	Cloreto		Á. acético		Água		Ext1		Ext2	
	-----Silício Solo (mg dm ⁻³)-----									
1 – RQo	1,3	B b	6,5	A de	3,2	B b	1,3	B f	1,7	B d
2 - PVAd	3,7	B b	11,1	A c	2,7	B b	4,1	B cdef	2,4	B cd
3 – RQo	1,7	B b	7,1	A de	1,1	B b	1,7	B ef	5,4	A bcd
4 – LVd	2,8	BC b	11,6	A bc	1,2	C b	5,8	B bcd	3,5	BC bcd
5 - LVAd	5,1	C ab	15,2	A ab	8,7	B a	2,9	C def	3,4	C bcd
6 - LVd	4,6	B ab	16,2	A a	0,4	C b	5,4	B bcde	5,5	B bc
7 – LVd	7,7	B a	9,6	B cd	0,6	C b	8,9	B ab	13,2	A b
8 – LVd	3,7	CD b	6,0	BC de	1,7	D b	9,8	A a	7,2	AB b
9 – LVd	3,9	C ab	15,2	A ab	7,8	B a	2,7	C def	4,2	C bcd
10 - CXd	2,9	C b	5,6	BC e	3,0	C b	6,7	B abc	14,0	A a
Média	3,7	C	10,4	A	3,1	C	4,9	BC	6,1	B
CV = 29,5%										

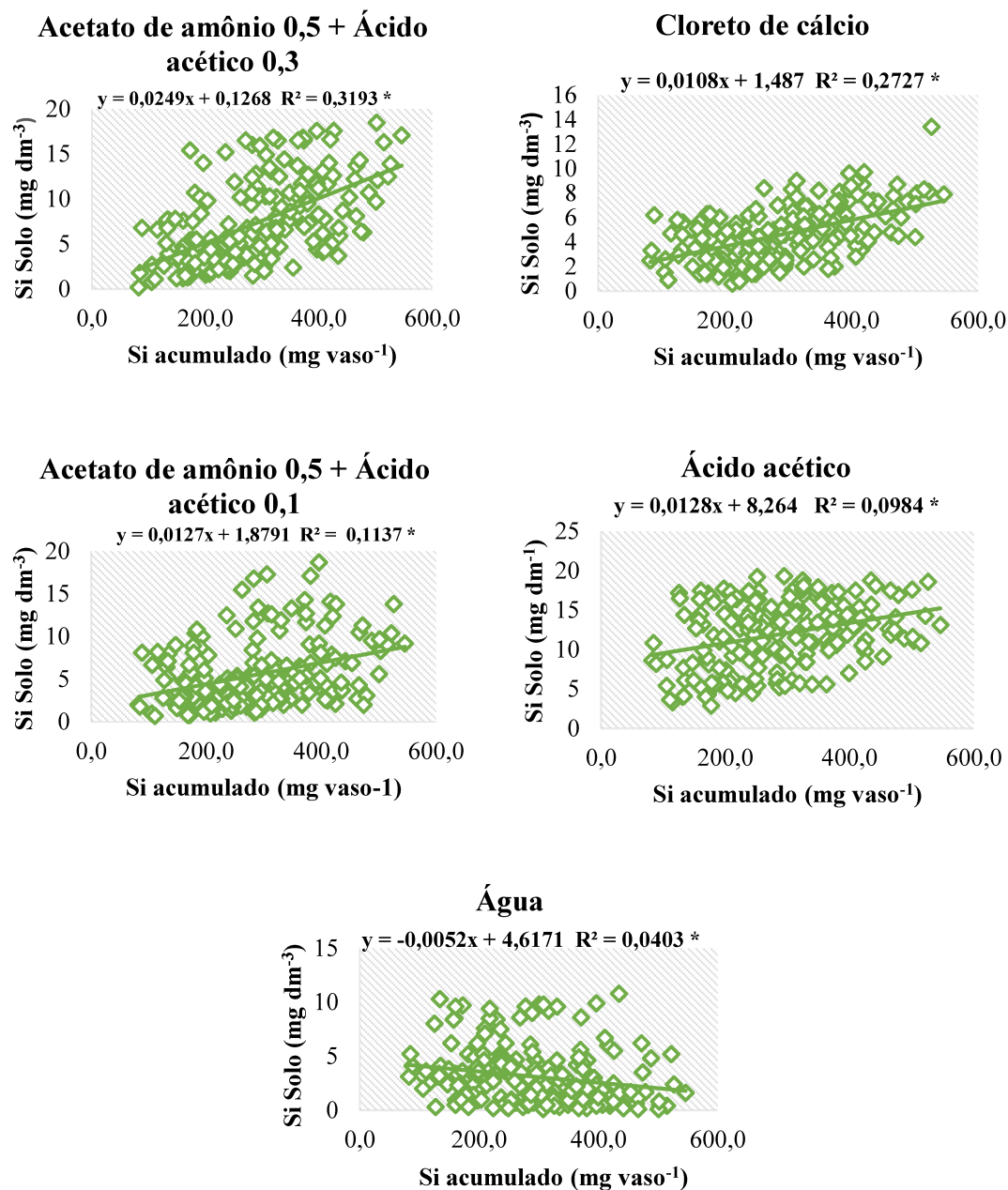
*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância. Ext 1 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ Ext 2 = acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³

Somente os valores de Si recuperado pelos extratores não é o suficiente para indicar se um extrator é bom ou ruim, sendo necessário que se faça sua correlação com o Si acumulado pelas plantas.

5.4. Correlação entre o Si disponível no solo e nas plantas

O extrator químico deve apresentar correlação adequada entre os teores do nutriente no solo e os teores absorvidos pela planta. A figura 3 indica as correlações obtidas através do coeficiente de determinação das equações para cada extrator analisado. A combinação de acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ obteve a maior correlação ($R^2 = 0,3193$) entre os extratores analisados, seguido pelo cloreto de cálcio ($R^2 = 0,2727$), acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,1 mol dm⁻³ ($R^2 = 0,1137$) e o ácido acético ($R^2 = 0,0984$). O uso da água como solução extratora resultou na correlação mais baixa, com $R^2 = 0,0403$.

Figura 3 – Correlações entre o Si acumulado (mg vaso^{-1}) e o Si solo (mg dm^{-3}) para os cinco extratores analisados.



6. DISCUSSÃO

De maneira geral, não houve diferença entre os tratamentos para a produção de massa seca, o mesmo ocorreu em Pereira et. al (2003), em que não houve diferença significativa para a produção de massa seca das plantas de arroz entre as 12 fontes de Si avaliadas. Em estudo com arroz sequeiro em dois solos diferentes, RQo e LVdf, Tokura et. al (2007) também não constatarem alterações na produção de massa seca da parte aérea. A absorção de Si é aumentada em condições de estresse, tanto bióticos, como abióticos (OLIVEIRA, 2009), desta forma o fato de o experimento ser realizado em casa de vegetação, sob condições ideais e sem estresses, está associada ao baixo efeito do Si na produção de massa seca.

O solo 10 – CXd, apresentou baixa produção no uso de terra diatomácea, entretanto tal fator não está associado ao teor de Si no tecido vegetal, já que para esse parâmetro não houve diferença significativa entre os tratamentos e o teor de Si fornecido foi semelhante aos demais em que o crescimento foi acentuado. Não é possível concluir o que está associado ao baixo crescimento neste caso, pois não foram analisados outros nutrientes.

Os solos 2 – PVAd e 9 – LVd apresentaram diferença entre os tratamentos e a maior produção de massa seca ocorreu com o uso de terra diatomácea e diopsita, respectivamente. Na literatura não há estudos que abordem o uso da diopsita na agricultura e os estudos com uso de terra diatomácea são escassos. Em estudo com Argissolo Vermelho Amarelo, Felisberto et. al (2014) observaram que os filossilicatos aumentaram a produção de fitomassa fresca, seca e conteúdo de silício na parte aérea das plantas de milho em relação ao tratamento com wollastonita e ao controle.

A wollastonita e a fluorita foram as fontes que mais liberaram Si para a planta e resultaram em maior valor de Si acumulado, já a terra diatomácea e a diopsita não foram eficientes para essas variáveis, apresentando resultados semelhantes a testemunha sem silício. Em estudo com girassol, Ferreira (2022) concluiu que a baixa solubilidade combinada com as concentrações de terra diatomácea utilizadas na pesquisa, não foram suficientes para influenciar nos aspectos morfológicos e fisiológicos avaliados nas plantas.

A quantidade de Si extraída variou entre os cinco extratores analisados, o acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ determinou uma faixa entre 1,7 a $16,2 \text{ mg dm}^{-3}$, o acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ determinou entre 1,4 a $12,6 \text{ mg dm}^{-3}$, o ácido acético obteve variação entre 5,3 a $16,9 \text{ mg dm}^{-3}$, a faixa

de extração determinada pela água variou entre 1,0 e 9,6 mg dm⁻³ e o cloreto de cálcio obteve a menor faixa de variação, sendo entre 1,7 a 8,5 mg dm⁻³. Ao determinar o Si em 137 tipos de solos, Rodrigues et al. (2003), constataram que o acetato extraiu maior quantidade de Si, variando de 0 a 509 mg dm⁻³, a extração com ácido acético foi de 1 a 239 mg dm⁻³ e com o cloreto de cálcio houve menor extração de Si comparado aos outros métodos, com teores de Si entre 3 a 109 mg dm⁻³.

Considerando a média dos dez solos, o ácido acético recuperou mais Si que os demais extratores. O poder de extração do ácido acético pode ser explicado pelo pH baixo (1,0-2,0) necessário para a formação do complexo silico-molibdico na determinação do silício pelo método do azul de molibdênio.

O extrator acetato de amônio 0,5 mol dm⁻³ + ácido acético 0,3 mol dm⁻³ recuperou mais Si no solo 10-CXd que os demais extratores. Ao avaliar três extratores de Si em Argissolo Vermelho e Cambissolo de textura média, Sousa et al. (2018) concluíram que o tampão acetato, pH 4, extraiu mais Si que o cloreto de cálcio e a água. Entretanto, o baixo pH faz com que o tampão atue de forma semelhante aos extratores ácidos, superestimando os valores de Si extraído em decorrência da extração de formas indisponíveis para as plantas.

O acúmulo de Si pelas plantas de arroz foi superior nas amostras do solo 7 – LVd em todos os tratamentos e o solo 1 – RQo apresentou os menores valores de Si acumulado. Ao se analisar o Si do solo com cloreto de cálcio, os resultados foram semelhantes, o solo 7 – LVd obteve a maior extração de Si no solo e o solo 1 – RQo a menor quantidade extraída. O solo 1 – RQo obteve os menores valores de Si extraído pelos outros extratores, exceto pela água em que o valor foi intermediário em comparação com os outros solos e na testemunha, onde o uso de ácido acético extraiu menos Si no solo 10 – CXd.

O baixo teor nos solos de textura arenosa e média já era esperado, uma vez que solos com maior teor de óxidos de ferro e alumínio e solos arenosos e de textura média apresentam menor teor de Si solúvel. Entretanto, alguns solos com baixos teores de argila contém teores suficientes de Si para as plantas e não respondem à adubação silicatada (CAMARGO, 2016). Os outros solos estudados apresentaram variação nos teores de Si extraído. As diferenças entre os teores extraídos nos diversos tipos de solos não estão baseadas apenas no teor de argila, mas também no teor de óxidos de ferro e de alumínio e na sua reserva de silício (CAMARGO et al., 2007).

Apesar de extrair maior quantidade de Si, o ácido acético apresentou correlação inferior aos outros extratores, exceto a água. A ordem decrescente de correlação foi:

acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ < cloreto de cálcio < acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ < ácido acético < água.

Em estudo com sete extratores de Si do solo, Pereira et al. (2007) observaram uma boa dispersão dos pontos ao se utilizar acetato de amônio e uma boa correlação entre o Si disponível no solo e para as plantas ($R^2 = 73\%$). Além disso, o ácido acético apresentou baixa correlação ($R^2 = 0,020$), semelhante ao encontrado no presente estudo. Em contrapartida, a água apresentou correlação média, diferindo do que ocorreu neste estudo.

Em experimento avaliando oito extratores, em nove aéreas de solo distintos sob plantio de cana-de-açúcar, Arruda (2009) concluiu que os extratores, ácido acético e tampão acetato pH 4,0, foram os que mais extraíram silício do solo entre as texturas analisadas, principalmente na argilosa, proporcionando alta correlação com o silício acumulado na planta. E os extratores cloreto de potássio, cloreto de cálcio (padrão e modificado) e água proporcionaram baixos valores de Si disponíveis no solo, no entanto, demonstraram altas correlações com a quantidade de Si acumuladas nas plantas de cana-de-açúcar.

Ao avaliar oito extratores, Pereira, et al. (2009), obtiveram boas correlações com as combinações de acetato de amônio $0,25 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ e acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$, sendo $R^2 = 0,6194$ e $R^2 = 0,599$, respectivamente. Os extratores cloreto de cálcio e ácido acético apresentaram $R^2 = 0,2467$ e $R^2 = 0,0897$, resultados próximos aos obtidos neste trabalho. A água teve correlação $R^2 = 0,3054$, sendo superior ao cloreto de cálcio e ácido acético. Porém no presente estudo, além da baixa correlação, a água apresentou comportamento contrário ao que se espera de um extrator, onde os altos valores de Si acumulado pela planta estão associados a baixos valores de Si do solo, e vice-versa. Um dos contratempos associado ao baixo desempenho da água como solução extratora é a turbidez da argila no extrato filtrado.

A combinação de acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ apresentou uma correlação intermediária entre os cinco extratores avaliados, sendo inferior ao cloreto de cálcio (extrator mais utilizados nos laboratórios brasileiros atualmente). Todos os extratores apresentaram correlações baixas, desta forma são necessários outros estudos para definir extratores com maiores potenciais de extração de Si do solo.

7. CONCLUSÃO

A fluorita com óxido de silício apresenta resultados semelhantes aos da wollastonita, indicando ser uma boa fonte para o fornecimento de Si as plantas. A diopsita e a terra diatomácea não foram eficientes para o fornecimento de Si, não sendo recomendadas para o uso como fertilizantes silicatados para aplicação via solo.

O extrator acetato de amônio $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ + ácido acético $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ apresentou a maior correlação entre o Si no solo e o Si nas plantas entre os extratores estudados. Novos estudos com a combinação de acetato de amônio e ácido acético são recomendados para melhor desenvolvimento da metodologia com este extrator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTRA, E.; MARTINS, M. A.; CORREA, F.; MARQUES, R. Aproveitamento do silício derivado da extração do quartzito são thomé na cultura do pepino. **Revista Augustus**, 27(54), 48-58, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.15202/10.15202/1981896.2021v27n54p48>

ARRUDA, D. P. de. (2009) Avaliação de extratores químicos na determinação de silício disponível em solos cultivados com cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Botucatu, p.90.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; ELLIOTT, C. L.; DATNOFF, L. E. Evaluation of soil test procedures for determining rice-available silicon.

Communications in Soil Science and Plant Analysis, London, v. 32, n. 11/12, p. 1779-1792, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120000249>

BABU, T.; TUBANA, B.; DATNOFF, L.; DUPREE, P.; WHITE, B. Survey of the plant-available silicon status of agricultural soils in Louisiana. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 3, p. 273-287, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346668>

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 637-647, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400014>

CAMARGO, M. S. de. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. *Informações Agronômicas*, 155, 1 - 9, 2016.

CARVALHO, M. T. M.; CASTRO, A. P.; FERREIRA, C. M.; LACERDA, M. C.; LANNA, A. C.; SILVALOBO, V. L.; SILVA, M. A. S.; COLOMBARI FILHO, J. M. O arroz de terras altas como estratégia para segurança alimentar, intensificação ecológica e adaptação à mudança do clima: rumo aos objetivos de desenvolvimento sustentável para o milênio. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. 14 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 252). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1121735>. Acesso em: 15 de out. 2024.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p. 673-681, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600013>

CONAB (Brasil). **Primeira estimativa para safra de grãos 2024/25 indica produção de 322,47 milhões de toneladas**. Brasília, DF, 15 de outubro de 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5770-primeira-estimativa-para-safra-de-graos-2024-25-indica-producao-de-322-47-milhoes-de>

toneladas#:~:text=Para%20a%20%C3%A1rea%2C%20estima%2Dse,%2C9%25%20na%20%C3%A1rea%20semeada. Acesso em: 17 de out. de 2024.

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>

DAN TATAGIBA, S.; CARELLI, C.; FIGUEIREDO, A. L. P.; BRANCALEONI, L.; GARDIN, J. P. P.; SOUZA, A. C. M. de; PADILHA, A. S. Uso do silício no crescimento e produção do feijoeiro submetido a diferentes condições hídricas. **Scientific Electronic Archives**, [s. l.], v. 17, n. 3, 2024. DOI: 10.36560/17320241930. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/index.php/SEA/article/view/1930>. Acesso em: 17 out. 2024.

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. p. 92-132.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 147, n. September 2017, p. 881–896, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>. Acesso em: 17 out. 2024.

FELISBERTO, G.; FEHR, R.; GODOY, L. J.; FELISBERTO, P. Filossilicatos: efeitos no crescimento e na nutrição de plantas de milho e no teor de silício do solo. **Agrarian Academy**, [S. l.], v. 1, n. 02, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5199>. Acesso em: 11 out. 2024.

FERREIRA, D. G. B. **Aspectos morfofisiológicos de girassol em função de diferentes doses de terra diatomácea**. 2022. 29 f. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

FERREIRA, B. C. (2017). **Reatividade de fontes de silício no solo e sua acumulação nas plantas de arroz e de sorgo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 53p.

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M.; FERNANDES, A. M. Efeitos do silício na toxicidade do alumínio em plantas de arroz de terras altas. **Plant Soil**, 420, 263–275 (2017).

HODSON, M. J. et al. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of botany**, v. 96, n. 6, p. 1027-1046, 2005.

KEEPING, M.G. Uptake of silicon by sugarcane from applied sources may not reflect plant-available soil silicon and total silicon content of sources. **Frontiers in Plant Science** 8:1–14, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00760>, Acesso em: 15 out. 2024.

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

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004b. 34 p. (Boletim Técnico, 2).

KORNDÖRFER, G. & SOUZA, S. R. **Elementos benéficos**. In: FERNANDES, Manlio Silvestre; SOUZA, Sônia Regina de; SANTOS, Leandro Azevedo. *Nutrição Mineral de Plantas*, cap. 15, 563-599, 2018.

LANNA, A. C.; FERREIRA, C. M.; DE FILIPPI, M.C.C. Importância do silício para a sustentabilidade da produção de arroz de terras altas no Cerrado brasileiro. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. 26 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 259). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225425/1/cot-259.pdf>. Acesso em: 15 de out. 2024.

LIANG, Y. C.; MA, T. S.; LI, F. J.; FENG, Y. J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 13/14, p. 2285-2297, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629409369189>.

LINNÉ, J.A.; CARDOSO, E.A. dos S.; FIGUEIREDO, V.M.A.; SILVERIO, J. M.; OLIVEIRA, T.C.C.; LIMA, V.T.; JESUS, M.V.; SCALON, S. de P. Q. O silício no manejo de estresses bióticos e abióticos. In: SANTOS, C. C. **Agrobiodiversidade [Livro eletrônico]: Manejo e Produção Sustentável**, Nova Xavantina: Pantanal, 2022, p. 132 – 146. Disponível em: 10.46420/9786581460679cap10

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants, In: DATNOFLF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Eds). *Silicon in Agriculture*. **The Netherland, Elsevier Science**, p.17-39. 2001.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

MENEGALE, M. L. C., CASTRO, G. S. A., & MANCUSO, M. A. (2015). Silício: Interação Com o Sistema Solo Planta. **Journal of Agronomic Sciences**, 4, 435-454.

NOLLA, A.; FARIA, R. J.; KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, T. R. B. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 10, p. 269-272, 2012.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Minas Gerais: Viçosa, SBCS, 2007.

OLIVEIRA NETO, A. A. (org.). **A cultura do arroz**. Brasília, DF: Conab, 2015. 180 p. Disponível em: http://biblioteca.conab.gov.br/phl82/pdf/2015_Cultura_do_arroz.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.

PARK, C. S. Past and future advances in silicon research in the Republic of Korea. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 359-371.

PEREIRA, H. S.; PEREIRA, E. T.; PAIVA, J. de B.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C. Avaliação de extratores de silício disponível em solos de cerrado In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Fortaleza: SPH Comunicação Visual, 2009. v. 1 p. 1-4

PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; KORNDÖRFER, G. H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p.239-247, 2007.

PEREIRA, H. S., KORNDÖRFER, G. H., VIDAL, A. de A., & CAMARGO, M. S. de. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 522–528, 2004.

PEREIRA, H. S., KORNDÖRFER, G. H., MOURA, W. F., & CORRÊA, G. F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 265–274, 2003.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. **Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas**. Informações Agrônômicas, n. 134, 2011.

RODRIGUES, L. L.; DAROUB, S. H.; RICE, R. W. e SNYDER, G. H. Comparison Of Three Soil Test Methods For Estimating Plant-available Silicon, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n 15-16, p. 2059-2071, 2003. DOI: 10.1081/CSS-120024048

SANTOS, B. M. S., BARBOSA, L. L., de MATOS FREITAS, G., de CARVALHO FURTADO, M., & de OLIVEIRA, A. C. L. Terra diatomácea e produção de Brassicaceae no Alto Sertão Sergipano. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n 2, 2020.

SAUER, D.; SACCONE, L.; CONLEY, D.J.; HERRMANN, L.; SOMMER, M. Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. **Biogeochemistry**, v. 80, p. 89-108, 2006.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, v. 58, p. 151-199, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60255-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60255-2).

SOUSA, S. C. S. P. Avaliação de extratores na determinação de silício disponível em solos do Rio de Janeiro. In: WORKSHOP DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS, 4, 2018, Niterói-RJ. *Anais eletrônicos*. Niterói, Universidade Federal Fluminense, 2017. p. 69 – 72.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro -. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 9-16, 20 ago. 2007
DOI: 10.4025/actasciagron.v29i1.58

VILELA, H. As fontes de silício (silicatos). **Agronomia: Artigos Científicos**, 2009.

WANG, H. L.; LI, C. H.; LIANG, Y. C. Agricultural utilization of silicon in China. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 343-358.

YAN, G. C.; NICOLIK, M.; Ye, MJ., Xiao, ZX; Liang, YC. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. **Journal of Integrative Agriculture** 17:2138-2150, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62037-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4). Acesso em: 21/10/2024.