

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

**REATIVIDADE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO HYDROPOTÁSSIO E DO PÓ
DE ROCHA SIENÍTICA ULTRAPOTÁSSICA COMO FONTES DE SILÍCIO E
POTÁSSIO PARA AS PLANTAS**

VINÍCIUS WILLIAM BORGES RODRIGUES

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL
2017

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

- R696r
2017
- Rodrigues, Vinícius William Borges, 1991
Reatividade e eficiência agrônômica do hydropotássio e pó de rocha sienítica ultrapotássica como fontes de silício e potássio para as plantas / Vinícius William Borges Rodrigues. - 2017.
67 p. : il.
- Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Coorientador: Hamilton Seron Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.
1. Agronomia - Teses. 2. Silicatos - Teses. 3. Adubação - Teses. 4. Fertilizantes potássicos - Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953- . II. Pereira, Hamilton Seron. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

VINÍCIUS WILLIAM BORGES RODRIGUES

**REATIVIDADE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO HYDROPOTÁSSIO E DO PÓ
DE ROCHA SIENÍTICA ULTRAPOTÁSSICA COMO FONTES DE SILÍCIO E
POTÁSSIO PARA AS PLANTAS**

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

APROVADA em 06 de março de 2017.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
(Co-orientador)

UFU

Prof. Dr. Humberto Molinar Henrique

UFU

Dr. Albano Antônio da Silva Leite

TERRATIVA MINERAIS SA

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG – UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar saúde e força para completar mais essa etapa da minha vida.

Aos meus pais William e Marilda pelo amor incondicional e por me apoiarem sempre;

A toda minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado durante essa caminhada, em especial meus irmãos Victória, Giovanna e Guilherme;

A minha avó Eleusa, por acreditar em mim, me apoiar e me incentivar sempre;

A todos do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes, 'LAFER' e também membros do Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura 'GPSi', pela ajuda e companheirismo.

Aos técnicos do LAFER e do Laboratório de Análises de Solo, 'LABAS', por toda a ajuda e suporte;

Aos professores Gaspar e Hamilton pelos ensinamentos, confiança e orientação;

A Terrativa Minerais SA pelo apoio e incentivo à pesquisa;

Ao CNPQ e FAPEMIG pelo apoio à pesquisa

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 SILÍCIO NO SOLO.....	3
2.2 SILÍCIO NA PLANTA	4
2.3 POTÁSSIO NO SOLO	5
2.4 POTÁSSIO NA PLANTA	7
2.5 A CULTURA DO ARROZ E SUA PRODUÇÃO COM SILÍCIO	7
2.6 FELDSPATO POTÁSSICO	9
CAPÍTULO 01 –TESTE DE INCUBAÇÃO	11
RESUMO	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Procedimentos	14
3.2 Cálculo do equivalente em silicato de cálcio	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Silício no solo.....	18
4.2 Equivalente em silicato de cálcio	20
4.3. pH, Ca e Mg do solo.....	21
5. CONCLUSÕES.....	26
CAPÍTULO 02 – TESTE BIOLÓGICO	27
RESUMO	27
1. INTRODUÇÃO	29
2. OBJETIVOS	30

3. METODOLOGIA	30
3.1 Análise de Nutrientes na Parte Aérea	33
3.2 Análise de Nutrientes e pH no Solo	34
3.3 Análise de Nutrientes Acumulados	34
3.4 Análises Estatísticas	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Análise da Parte Aérea do Arroz	34
4.2 Análise dos Nutrientes e pH no Solo	41
4.3 Análise de Nutrientes Acumulados	47
4. CONCLUSÃO	53
5. CONCLUSÃO GERAL DO TRABALHO	53
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

RESUMO

RODRIGUES, VINÍCIUS WILLIAM BORGES. **Reatividade e eficiência agronômica do Hydropotássio e do Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica como fontes de silício e potássio para as plantas.** Uberlândia: UFU, 2016. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A utilização de silicatos como fonte de silício tem proporcionado inúmeros benefícios para a agricultura, sendo os principais relacionados à ação fertilizante e corretiva dos mesmos. Dentre as principais fontes de Si estão as de origem natural (rochas), agregados siderúrgicos e subprodutos da fabricação de fertilizantes fosfatados. Existem hoje várias fontes de Si, no entanto, é necessário identificar aquelas com maior eficiência agronômica e garantias necessárias para que possam ser comercializadas como fertilizantes ou corretivos de solo. Com o objetivo de avaliar a reatividade e eficiência de diferentes fontes de Si e potássio, foram desenvolvidos dois estudos de incubação e um teste biológico. Os experimentos foram conduzidos em dois solos distintos, o primeiro utilizou-se Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), e o segundo, Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), testando 3 fontes de silício. O experimento de incubação foi instalado em fatorial $3 \times 2 + 1$, sendo três fontes (Hydropotássio, Pó de rocha e Wollastonita como fonte padrão), duas doses (200 e 400 mg kg⁻¹ de Si) e tratamento adicional sem Si. Foram dispostos em blocos casualizados. Também houve a aplicação da fonte padrão nas dosagens de 100 e 600 mg kg⁻¹ de Si, para determinar a curva de liberação da fonte. Após 60 dias de incubação, foram retiradas amostras para análises de teor de Si disponíveis em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e ácido acético 0,5 mol L⁻¹, pH, Ca, Mg trocáveis. Através dos resultados de Si disponíveis, foi calculado a equivalência em silicato de cálcio que, quando superior a 45% [média de dois solos (arenoso e argiloso) e duas doses de Si (200 e 400 kg ha⁻¹) estarão habilitados para fazer o Registro junto ao Ministério da Agricultura. Para o teste biológico, foi realizado um experimento em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia – MG. O teste foi montado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, e 10 tratamentos arranjados em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, sendo as fontes de Si (Hydropotássio, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e a fonte padrão Wollastonita), três doses de Si (400, 600 e 800 kg ha⁻¹) e a controle sem aplicação de Si. A quantidade de produto aplicada foi calculada baseada no teor de Si total de cada fonte. O arroz foi semeado e colhido após 70 DAS (dias após semeadura), antes do florescimento. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso com 5 kg de solo e 7 plantas de arroz da cultivar BRS Atalanta. As variáveis avaliadas foram Si, Ca, Mg, K e pH do solo, nutrientes na parte aérea da planta, nutrientes acumulados e produção de massa seca. Entre as fontes estudadas, no teste de incubação, Wollastonita, fonte padrão, foi a mais eficiente em disponibilizar silício, cálcio e magnésio para Neossolo Quartzarênico, após período de reatividade. Também, apresentou maior poder de correção de pH. Em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), Wollastonita foi a mais eficiente em disponibilizar silício, cálcio. Hydropotássio apresentou-se superior em fornecer magnésio e poder de correção do solo. Assim, os resultados do teste de incubação indicaram que Hydropotássio está apto para registro como fertilizante contendo Si junto ao Ministério da Agricultura, pois apresentou Equivalente em Silicato de Cálcio igual ou superior à 45% nos dois solos estudados. Para o teste biológico, a aplicação de Hydropotássio, o aumento na dose em LVd provoca redução no teor de nutrientes na parte aérea. Wollastonita (padrão), foi a melhor fonte para fornecimento de silício, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica não apresentou liberação

significativa de silício para as plantas. Hydropotássio apresentou aumento de silício no teor foliar, contudo foi inferior ao tratamento padrão (Wollastonita). Hydropotássio na dose de 400 kg ha⁻¹ apresentou menor eficiência para produção de massa seca. Em RQo, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica foi a fonte que apresentou maior eficiência para fornecer potássio para as plantas. Em solo RQo, Hydropotássio na dose de 400 kg ha⁻¹ apresentou maior eficiência em fornecer Si para as plantas. Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica em RQo, não liberou silício para as plantas. Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica em solo RQo, foi a fonte mais eficiente para acúmulo de potássio pelas plantas e em LVd foi a que apresentou menor eficiência juntamente com Hydropotássio.

Palavras-chave: incubação, biológico, silicato, adubação, potássica, pH.

¹ Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

ABSTRACT

RODRIGUES, VINÍCIUS WILLIAM BORGES. Reactivity and agronomic efficiency of Hydropotassium and Ultrapotassic Sienitic Rock Powder as sources of silicon and potassium for plants. Uberlândia: UFU, 2016. 67p. Dissertation (Master in Agronomy / Soils) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

The use of silicates as a source of silicon has provided innumerable benefits for agriculture, the main ones being related to the fertilizing and corrective action of the same. Among the main sources of Si are those of natural origin (rocks), steel aggregates and by-products from the manufacture of phosphate fertilizers. There are several sources of Si today, however, it is necessary to identify those with the highest agronomic efficiency and the necessary guarantees so that they can be marketed as fertilizers or soil correctives. In order to evaluate the reactivity and efficiency of different sources of Si and potassium, two incubation studies and one biological test were developed. The experiments were carried out in two different soils, the first one was Typical Quartzianic Ozonum (RQo) and the second was the Typical Red Latosol (LVd), testing three silicon sources. The incubation experiment was installed in a $3 \times 2 + 1$ factorial, with three sources (Hydropotassium, Rock Powder and Wollastonite as standard source), two doses (200 and 400 mg kg⁻¹ of Si) and additional treatment without Si. Randomized blocks. There was also the application of the standard source at the dosages of 100 and 600 mg kg⁻¹ of Si, to determine the source release curve. After 60 days of incubation, samples were analyzed for Si content analyzes in 0.01 mol L⁻¹ calcium chloride and 0.5 mol L⁻¹ acetic acid, pH, Ca, Mg exchangeable. The calcium silicate equivalence was calculated using the Si results, which, when higher than 45% [average of two soils (sandy and clayey) and two doses of Si (200 and 400 kg ha⁻¹), will be able to do The Register with the Ministry of Agriculture. For the biological test, an experiment was carried out in a greenhouse at the Federal University of Uberlândia (UFU), in Uberlândia - MG. The experiment was set up in a randomized complete block design with four replications and 10 treatments arranged in a $3 \times 3 + 1$ factorial scheme. The sources of Si (Hydropotassium, Ultrapotassic Sienitic Rock Powder and the standard Wollastonite source) were three Si doses 400, 600 and 800 kg ha⁻¹) and the control without application of Si. The amount of product applied was calculated based on the total Si content of each source. The rice was sown and harvested after 70 DAS (days after sowing), before flowering. Each experimental plot consisted of a pot with 5 kg of soil and 7 rice plants of the cultivar BRS Atalanta. The evaluated variables were Si, Ca, Mg, K and pH of the soil, nutrients in the aerial part of the plant, accumulated nutrients and dry mass production. Among the sources studied, in the incubation test, Wollastonite, the standard source, was the most efficient in providing silicon, calcium and magnesium to Quartzarenic Neosol after a period of reactivity. It also showed higher pH correction power. In Typical Red Latosol (LVd), Wollastonite was the most

efficient in providing silicon, calcium. Hydropotassium was superior in providing magnesium and soil correction power. Thus, the results of the incubation test indicated that Hydropotassium is suitable for registration as fertilizer containing Si at the Ministry of Agriculture, because it presented a Calcium Silicate Equivalent of 45% or higher in the two soils studied. For the biological test, the application of Hydropotassium, the increase in the dose in LVd causes reduction in the content of nutrients in the aerial part. Wollastonite (standard), was the best source for silicon supply, Ultrapotassic Sienitic Rock Powder did not show significant release of silicon to the plants. Hydropotassium increased silicon content in leaf content, but was lower than standard treatment (Wollastonite). Hydropotassium at the dose of 400 kg ha⁻¹ presented lower efficiency for dry mass production. In RQo, Ultrapotassic Sienitic Rock Powder was the source that presented the highest efficiency to supply potassium to the plants. In soil RQo, Hydropotassium at the dose of 400 kg ha⁻¹ showed higher efficiency in providing Si for plants. Ultrapotassic Sienitic Rock Powder in RQo, did not release silicon to the plants. Ultrapotassic Sienitic Rock Powder in RQo soil was the most efficient source for potassium accumulation by plants and in LVd it was the one that presented the lowest efficiency along with Hydropotassium.

Key words: incubation, biological, silicate, fertilization, potassium, pH.

¹ Major Professor: Gaspar Henrique Korndörfer - UFU

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Silício passou a ser considerado um micronutriente essencial a partir de janeiro de 2004, pela legislação brasileira de fertilizantes, o que motivou o interesse pelas pesquisas envolvendo este nutriente.

No Brasil, o silício que pode ser potencialmente utilizado como fonte, é encontrado como produtos de origem natural, de origem siderúrgica ou mesmo industrial. As pesquisas têm auxiliado muito para a descoberta destas fontes de silício que apresentam eficiência agrônômica.

Contudo, poucas são as informações com relação às melhores fontes de silício para uso na agricultura, sendo que alguns produtos já vêm sendo comercializados como fontes desse elemento, destacam-se: os agregados siderúrgicos, utilizados para fornecimento de Si e correção do solo, já que possuem em sua composição silicatos de Ca e Mg; subprodutos da produção do fósforo elementar; cimento; silicatos de magnésio (Serpentinóis); silicatos de potássio; termofosfatos; sílica gel e fontes naturais a Wollastonita, que é um silicato de cálcio natural com altos teores de CaSiO_3 e alto grau de pureza utilizado padrão para experimentos com silício.

São necessários critérios para escolher as melhores fontes de silício, as quais devem apresentar altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, altos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de Magnésio (MgO), além de baixos teores de metais pesados, em especial para os agregados siderúrgicos.

O potássio (K) desempenha um papel vital em numerosas e importantes funções metabólicas da planta. O potássio é absorvido pela planta de duas maneiras: a primeira é a absorção do íon K^+ da superfície das raízes por difusão, um processo que não requer energia despendida pela planta; o segundo processo envolve o transporte do íon K^+ através da membrana da raiz e liberá-lo no interior da mesma; este processo requer energia que a planta obtém pela respiração. A importância do potássio para as plantas foi reconhecida somente no início do século passado, embora muito antes já fossem conhecidos os benefícios dos materiais que continham potássio, como cinzas de madeira, esterco animal e resíduos de plantas.

O arroz é uma das culturas mais responsivas à aplicação de silício e em alguns países, a adubação com esse elemento já é utilizada em larga escala. No Japão, por exemplo, 25% da área cultivada com arroz recebe anualmente aplicações de silicato de cálcio que variam de 0,5 a 1,0 tonelada, demonstrando a importância da utilização do Si nesse país.

A importância da aplicação de silício para as plantas está relacionada principalmente ao aumento do crescimento e produção vegetal através de várias ações indiretas, deixando as folhas mais eretas, com diminuição do auto sombreamento; redução ao acamamento; maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Fe, Mn, Al e Na; diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994 e MARSCHNER, 1995).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O elemento silício (Si), foi descoberto por Davy em 1809. Contudo, os primeiros testes realizados com Si, como fertilizante, ocorreram em 1843 na Inglaterra, cujos primeiros resultados consistentes para o efeito do Si na produtividade e na indução a resistência das plantas a doenças e às pragas levaram mais de 130 anos.

Desde então, foram realizados vários experimentos sobre os efeitos do Si nas plantas, com diversas culturas como arroz, milho, cevada, girassol e beterraba. No entanto, os mecanismos fisiológicos desse elemento ainda hoje, não são bem conhecidos (CHAGAS, 2004).

Os primeiros resultados, obtidos através de estudos em diferentes universidades e estações experimentais, utilizando como base para produção de fertilizantes silicatados, ocorreram no Japão. Isto despertou o interesse na pesquisa e comercialização de fontes de Si, disponíveis em nosso país, necessitando da continuação dos estudos sobre o efeito das mesmas sobre o solo e as culturas.

2.1 SILÍCIO NO SOLO

A principal forma de silício no solo, prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas é o ácido monossilícico (H_4SiO_4) (RAIJ; CAMARGO, 1973).

Dentre os fatores que contribuem para o acréscimo na concentração deste ácido no solo, podemos citar a decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e adição de fertilizantes silicatados. Por outro lado, os principais fatores que contribuem para sua redução são a precipitação do silício em solução formando minerais; a polimerização do ácido silícico; a lixiviação; a adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

Segundo Queiroz (2003), os solos com alto grau de intemperismo, característica de pH ácido, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação por bases, baixos teores de silício trocável ($< 6\text{mg dm}^{-3}$) e baixa relação sílica: sesquióxidos de Fe e Al ($< 0,5$) estão presentes em sua maioria nas áreas de Cerrado do Brasil. Em tais condições, é de se esperar resposta quanto à aplicação de silício na forma de fertilizantes e também como corretivos silicatados quando aplicados, principalmente, em plantas acumuladoras de Si, como a maioria das gramíneas.

As principais fontes utilizadas de silício são os silicatos, mas para que sejam aplicados, necessitam da remoção dos metais pesados de sua composição, pois os mesmos podem provocar sérios problemas de contaminação ambiental. São consideradas características ideais para fonte de silício alta concentração de Si-solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, boa relação e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), baixa concentração de metais pesados e baixo custo (KORNDÖRFER, et. al. 2004).

2.2 SILÍCIO NA PLANTA

O silício é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) juntamente com a água (fluxo de massa) e se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração (tricomas, espinhos, etc.) como ácido silícico polimerizado (sílica amorfa) (RAMOS, 2005). Levando em consideração a capacidade de absorção e acúmulo de silício, Ma. et al., 2001, considerou plantas acumuladoras de silício, aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras plantas com teor de silício menor que 0,5%. Ao ser absorvido pelas plantas acumuladoras, por fluxo de massa, o silício é translocado no xilema, e tem tendência natural a se polimerizar, concentrando-se principalmente nas folhas mais velhas (LIMA FILHO et al., 2005).

Na planta, o silício concentra-se nos tecidos de suporte, do caule e nas folhas, podendo ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos. Em geral, o conteúdo médio de silício das raízes é menor se comparado com o caule e folhas, em alguns casos, como por exemplo, a soja, planta não acumuladora, o teor de Si na raiz é maior do que nas folhas (OLIVEIRA, 2009).

Quando encontrado na folha, a maior parte deste Si está incorporado na parede celular, principalmente nas células da epiderme, estômatos e tricomas, ou depositada juntamente com outros elementos, originando depósitos amorfos chamados de fitólitos ou sílica biogênica.

A concentração do silício nas plantas depende da espécie vegetal e das condições edafoclimáticas onde as mesmas crescem (Wrang et. al., 1998).

Segundo Oliveira & Castro (2002), em ambientes como o cerrado brasileiro, a acumulação de silício ocorre nos órgãos de transpiração, formando uma dupla camada de sílica, causando a diminuição da abertura dos estômatos e consequentemente redução na perda de água por transpiração.

Além do efeito na transpiração, o acúmulo de silício na parede celular torna a planta mais resistente à ação de fungos e insetos (Dayanandam et. al., 1983). Isso ocorre pela relação entre a sílica com constituintes da parede celular, tornando-as menos acessíveis aos ataques adversos de pragas e doenças.

A adubação com Si tem mostrado eficiência no controle de várias doenças importantes, principalmente fúngicas. Ma & Takahashi, 2002, Korndörfer, et. al. 2002 em pesquisas com a adubação silicatada, determinaram que a presença do Si pode eliminar ou reduzir o número de aplicações com fungicidas durante o ciclo da cultura. Isto ocorre porque no arroz, o Si deposita-se em maior proporção abaixo da cutícula, formando uma camada de sílica, contribuindo para fortalecer a planta e dificultar a penetração de hifas de fungos.

O uso de silício na agricultura, tem contribuído para a redução do consumo de fungicidas, os quais tem sido altamente questionado por grupos ambientalistas, por apresentarem elevado potencial de contaminação do solo e da água. Além disso, os fungicidas são considerados produtos de alta tecnologia e, por isso, acrescentam elevados custos ao produtor, que em muitos casos não possuem condições financeiras para sua aquisição. Assim, o manejo do Si na nutrição de plantas poderá contribuir de forma significativa para uma agricultura mais sustentável e menos poluente (RAMOS et al., 2005).

2.3 POTÁSSIO NO SOLO

O Potássio é um elemento muito abundante nas rochas e no solo. Os teores totais, em solos bem nutridos, podem superar 1%. Grande parte desse Potássio encontra-se em minerais que contém o elemento nas estruturas cristalinas. Os minerais primários portadores de Potássio mais importantes encontrados em rochas ígneas são os feldspatos e dois tipos de micas (muscovita e biotita).

O intemperismo do material de origem e o grau de intemperismo do próprio solo afetam os minerais e, conseqüentemente, as formas e as quantidades de Potássio existentes no solo. Os feldspatos são facilmente intemperizáveis seguidos da biotita, sendo a muscovita a mais persistente nos solos, principalmente nas frações de dimensões de silte (limo) ou acima.

Em solos como do Cerrado brasileiro, onde temos alto grau de intemperismo, solos altamente lixiviados, há uma grande deficiência deste nutriente, sendo este um limitador de produção, devido suas baixas concentrações. Assim, necessita-se de aplicações das

fontes contendo o Potássio, para favorecer a nutrição da planta ou mesmo auxiliar na liberação do potássio que está na forma não disponível no solo.

Além do Potássio estrutural dos minerais, o nutriente ocorre no solo na forma de cátion trocável e na solução do solo, sempre como íon K^+ , que é também a forma de ocorrência em minerais. Os teores trocáveis em geral pouco representam em relação aos teores totais, contudo, em solos muito intemperizados de diversas regiões brasileiras, eles podem ser a mais importante reserva de Potássio disponível.

2.3.1 Formas e disponibilidade de potássio no solo no solo

Os minerais que proporcionam maior suprimento de K no solo são ortoclásio, moscovita, biotita e leucita, representando de 90 a 98% do potássio total do solo existentes nesses minerais. Uma razoável quantidade de potássio, 1 a 10%, encontra-se na forma dificilmente trocável nos colóides do solo (GIRACCA, 2016).

Quando se aplica no solo fertilizante potássico na forma solúvel, como o cloreto de potássio, o potássio pode ser primeiramente adsorvido aos colóides do solo e, então, passa para a forma “fixada”, ou pode passar diretamente para ela, da solução.

2.3.2 Fatores que influenciam a fixação do potássio no solo

A fixação do potássio ocorre com maior frequência em solos que contêm argilas do tipo 2:1, como sejam montmorilonita, illita e vermiculita. Isto devido à alta carga e íons que estão dispostas nestes solos. Argilas do tipo 1:1, que são predominantes em nossos solos, como a caulinita, têm reduzido poder de fixação do potássio. A matéria orgânica, embora tenha grande capacidade de reter potássio e outros cátions na forma trocável, não possui capacidade de fixar o potássio (GIRACCA, 2016).

2.3.3 Fatores que influenciam a perda e lixiviação do potássio no solo

Consideráveis quantidades de potássio são perdidas através da drenagem da água, nos solos minerais, notadamente quando tenham sido submetidas a pesadas adubações

potássicas. Em alguns casos, tais perdas podem ser tão grandes que se aproximam das quantidades do potássio extraídas pelas culturas.

Solos argilosos que não recebem fertilização potássica sofrem perdas maiores do que os arenosos porque, normalmente, possuem maior quantidade de potássio solúvel e trocável. As plantas têm a capacidade de assimilar o potássio trocável do solo. A absorção se dá diretamente através da chamada troca por contato que ocorre entre o potássio adsorvido ao colóide do solo e os íons hidrogênio adsorvidos aos pêlos absorventes das raízes (GIRACCA, 2016).

2.4 POTÁSSIO NA PLANTA

O potássio é o segundo elemento de maior importância para as plantas, sendo o Nitrogênio o elemento de maior concentração no seu interior. Os teores de potássio são elevados nas folhas e mesmo nas partes colhidas, com exceção de grãos amiláceos. Em plantas com elevado teor de água, como batatinha, mandioca, laranja e cana de açúcar, mesmo baixos, são importantes devido à grande extração do nutriente nessas áreas de produção (GIRACCA, 2016).

O potássio é absorvido como K^+ pelas plantas e o nutriente mantém-se sempre nesta forma, sendo o mais importante cátion na fisiologia vegetal. Não fazendo parte de compostos específicos, a função do potássio não é estrutural. Dentre as funções do potássio nas plantas, destacam-se o papel de ativador de funções enzimáticas e de manutenção da turgidez das células.

O potássio é extremamente móvel na planta, ocorrendo transporte a longas distâncias. Cerca de 70% acha-se no suco celular na forma iônica e, 30% no protoplasma. É comum o potássio de folhas velhas serem distribuídos para folhas novas. Órgãos de plantas são supridos preferencialmente e, assim, tecidos meristemáticos e frutos novos têm altos teores de potássio (GIRACCA, 2016).

2.5 A CULTURA DO ARROZ E SUA PRODUÇÃO COM SILÍCIO

O arroz (*Oryza Sativa*) vem se destacando dentro do cenário agropecuário, sendo considerado o alimento básico de 17 países da Ásia e do Pacífico, 8 países da África, 7

países da América Latina e Caribe e 1 Oriente Médio. Tomando como referência o conjunto de todos os países em vias de desenvolvimento, o arroz representa 27% do consumo de energia e 20% do consumo de proteínas. No Brasil, o consumo médio é de 54 kg hab ano⁻¹, sendo que a safra de 2013/2014, no país, ocupou uma área de 2.372.900 ha, com uma produção de 12.121.600 toneladas e uma produtividade de 5100 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2014).

Segundo Guimarães et al. (2002), o clima é fator de elevada importância na cultura do arroz. Dentre os fatores de origem climática que podem interferir na cultura do arroz, destacam-se a ocorrência de baixas temperaturas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado nos estados do Sul e a ocorrência de estiagens (veranicos), na região dos cerrados. Segundo os mesmos autores, as injúrias comuns, devido a baixas temperaturas, são a redução da germinação e do crescimento da plântula, descoloração das folhas, degeneração de parte da panícula, emergência incompleta da panícula, retardamento da floração ou mais especificamente na microsporogênese.

A importância do silício para a cultura do arroz já foi demonstrada por vários estudos (PEREIRA et al., 2004; CARVALHO-PUPPATO, 2003; BERNI e PRABHU, 2003). Os benefícios para a cultura estão relacionados com o aumento no crescimento e na produção, interações positivas com fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumento na resistência e estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (seca, sanilidade, acamamento) e aumento na produtividade em solos com altos níveis de Al, Fe e Mn (SAVANT et al., 1997).

Datnoff et al. (1991), através da análise dos resultados de 23 experimentos de campo, observaram um aumento médio de 1.007 kg ha⁻¹, na produção de grãos, nas parcelas que receberam Si, na forma de silicato de Ca e Mg. Segundo Rodrigues (2000), o aumento no teor de Si nas plantas de arroz, com a aplicação de silicato de Ca e Mg no solo, explicou a redução significativa, no aparecimento de lesões causadas pela "queima da bainha" (*Rhizoctonia solani*) e no comprimento relativo dessas lesões, nas plantas.

Segundo Faria (2000), a produção de grãos do arroz cresceu de forma positiva com o aumento das doses de Si aplicadas. Independentemente do tipo de solo, houve um

aumento linear da produção que variou de 38,6 para 54,3 g vaso⁻¹ na Areia Quartzosa e de 60,6 para 79,0 g vaso⁻¹ no Latossolo Vermelho-amarelo, respectivamente para as doses 0 e 600 kg ha⁻¹ de Si. Esse comportamento linear sugere que a produção de grãos poderia ter sido ainda maior, caso fossem utilizadas doses de Si superiores a 600 kg ha⁻¹.

2.6 FELDSPATO POTÁSSICO

A termo feldspato derivada do alemão *feld* (campo) + *spath* (pedra). Está entre o grupo de minerais mais importantes, visto que 60% da crosta terrestre é constituída por esse mineral. Além da grande frequência esse grupo apresenta ampla distribuição, constituindo-se dessa forma na principal base de classificação das rochas magmáticas, estando ausente apenas em algumas rochas ultramáficas e em raríssimas rochas alcalinas. Os feldspatos são os constituintes mais importantes dos pegmatitos simples e são comuns nos filões. São os constituintes principais da maioria dos gnaisses e xistos e ocorrem também em muitas rochas geradas por metamorfismo termal, regional e dinâmico. Embora os feldspatos sejam susceptíveis de alteração e meteorização, eles estão presentes de maneira marcante nos sedimentos arenosos, onde aparecem sob a forma de grãos detríticos e/ou autógenos, sendo de importância secundária apenas em sedimentos pelíticos e principalmente carbonáticos (MACHADO, 2016).

O perfeito entendimento das relações entre os feldspatos apenas é atingido com a caracterização química e estrutural, aspectos dependentes da temperatura e pressão de cristalização e da história termal e deformacional subsequente. Ele pode ser de alta temperatura quando preserva a estrutura de geração a alta temperatura; e de baixa temperatura quando as estruturas de alta temperatura sofrerem modificação lenta e total para formas de baixa temperatura, ou quando cristalizar em ambiente de baixa temperatura (cristalização plutônica). Os feldspatos podem ocorrer também em estados estruturais correspondentes a temperaturas intermediárias.

Resultam da substituição parcial do Si pelo Al, resultando em 3 grupos principais: os feldspatos potássicos, os feldspatos sódico-cálcicos e o feldspato de bário. Todos com estruturas idênticas, consistindo em cadeias arqueadas de anéis de quatro membros

que se estendem na direção do eixo a , unidas por ligações iônicas através dos íons de K, Na, Ca ou Ba (MACHADO, 2016).

CAPÍTULO 01 –TESTE DE INCUBAÇÃO

RESUMO

RODRIGUES, VINÍCIUS WILLIAM BORGES. **Reatividade do Hydropotássio e do Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica como fontes de silício e potássio.**

A utilização de silicatos como fonte de silício tem proporcionado inúmeros benefícios para a agricultura, sendo os principais relacionados à ação fertilizante e corretiva dos mesmos. Com o objetivo de avaliar a reatividade de diferentes fontes de Si, foram desenvolvidos dois estudos de incubação. Os experimentos de reatividade foram conduzidos em dois solos distintos, os quais foram analisados 60 dias após incubação. Para o primeiro ensaio utilizou-se Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), e o segundo, Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), testando 3 fontes de silício. Os silicatos (Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica), foram aplicados nas dosagens de 200 e 400 mg kg⁻¹ de Si. Utilizou-se a Wollastonita como fonte padrão, nas doses de 100, 200, 400, 600 mg kg⁻¹ de Si, também houve a instalação de teste padrão, sem aplicação de fontes de silício para determinar, em comparativo, a quantidade de Si disponibilizado pelos silicatos. O experimento foi instalado em fatorial 3x2+1, sendo três fontes, duas doses e tratamento adicional. Foram dispostos em blocos casualizados. Após 60 dias de incubação, foram retiradas amostras para análises de teor de Si disponíveis em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹, pH, Ca, Mg trocáveis. Através dos resultados de Si disponíveis, foi calculado a equivalência em silicato de cálcio que, quando superior a 45% [média de dois solos (arenoso e argiloso) e duas doses de Si (200 e 400 kg ha⁻¹) estarão habilitados para fazer o Registro junto ao Ministério da Agricultura. Entre as fontes estudadas, Wollastonita foi a mais eficiente em disponibilizar silício, cálcio e magnésio para Neossolo Quartzarênico, após período de reatividade. Também, apresentou maior poder de correção de pH. Em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), Wollastonita foi a mais eficiente em disponibilizar silício e cálcio. Hydropotássio apresentou-se superior em fornecer magnésio e poder de correção do solo. Assim, os resultados do teste de incubação indicaram que Hydropotássio está apto para registro como fertilizante contendo Si junto ao Ministério da Agricultura, pois apresentou Equivalente em Silicato de Cálcio igual ou superior à 45% nos dois solos estudados.

Palavras-chave: incubação, silicato, Ca, Mg, pH.

ABSTRACT

RODRIGUES, VINÍCIUS WILLIAM BORGES. Reactivity of ydropotassium and Ultrapotassic Sienitic Rock Powder as sources of silicon and potassium.

The use of silicates as a source of silicon has provided innumerable benefits for agriculture, the main ones being related to the fertilizing and corrective action of the same. In order to evaluate the reactivity of different sources of Si, two incubation studies were developed. Reactivity experiments were conducted on two distinct soils, which were analyzed 60 days after incubation. For the first test, the typical Quartzianic Ozonic Neosol (RQo) was used, and the second, Distrófico Red Latosol (LVd), was tested by 3 silicon sources. The silicates (Hydropotassium and Ultrapotassic Sienitic Rock Powder) were applied at dosages of 200 and 400 mg kg⁻¹ of Si. Wollastonite was used as the standard source at doses of 100, 200, 400, 600 mg kg⁻¹ Of Si, there was also the installation of standard test, without application of silicon sources to determine, in comparison, the amount of Si made available by the silicates. The experiment was installed in factorial 3x2 + 1, being three sources, two doses and additional treatment. They were arranged in randomized blocks. After 60 days of incubation, samples were analyzed for Si content analyzes in 0.01 mol L⁻¹ calcium chloride and 0.5 mol L⁻¹ acetic acid, pH, Ca, Mg exchangeable. The calcium silicate equivalence was calculated using the Si results, which, when higher than 45% [average of two soils (sandy and clayey) and two doses of Si (200 and 400 kg ha⁻¹), will be able to do The Register with the Ministry of Agriculture. Among the studied sources, Wollastonite was the most efficient in providing silicon, calcium and magnesium to Quartzarenic Neosol after period of reactivity. It also showed higher pH correction power. In typical Dystrophic Red Latosol (LVdt), Wollastonite was the most efficient in providing silicon and calcium. Hydropotassium was superior in providing magnesium and soil correction power. Thus, the results of the incubation test indicated that Hydropotassium is suitable for registration as fertilizer containing Si at the Ministry of Agriculture, because it presented a Calcium Silicate Equivalent of 45% or higher in the two soils studied.

Keywords: incubation, silicate, Ca, Mg, pH.

1. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, depois do oxigênio. Nos solos, o silício solúvel ou disponível para as plantas (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) pode ter origem nos processos de intemperização dos minerais primários e particularmente dos minerais secundários como os argilo-silicatos. Na planta, o Si absorvido tem efeitos benéficos relacionados principalmente com o aumento da resistência ao ataque de pragas (insetos), nematóides e doenças, diminui a taxa de transpiração e, confere maior eficiência fotossintética. Todos estes benefícios sugerem a inclusão do Si na lista dos micronutrientes. Assim, a partir do decreto lei número 4.954, que regulamenta a lei 6.894 de 16/01/1980, aprovada em 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), e que dispõe sobre a produção e comercialização de fertilizantes, o Si foi incluído na lista dos micronutrientes. Isto devido aos diversos benefícios que o silício traz as plantas e principalmente pela capacidade de acumular este nutriente.

Em solos como Cerrado brasileiro, intemperizados e pobres em Si, a aplicação de silicatos tem mostrado inúmeros benefícios, onde além de liberar e suprir o nutriente para as plantas, tem a capacidade de agirem como corretivos de acidez, elevando o pH do solo.

Dentre os produtos que já vêm sendo comercializados como fonte desse elemento, destaca-se: os agregados siderúrgicos, utilizados para o fornecimento de Si e correção do solo, já que possuem em sua composição silicatos de Ca e Mg; subprodutos da produção de fósforo elementar; silicatos de magnésio; silicatos de potássio; termofosfatos; sílica gel e fontes naturais como a Wollastonita, que é um silicato de cálcio natural com altos teores de CaSiO_3 e alto grau de pureza utilizado como padrão para experimentos com Si (RAMOS et. Al., 2005).

Dentre as fontes destaca-se os agregados siderúrgicos, os quais são geradas em grandes quantidades no país e, tratando-se de um passivo ambiental e sua utilização como fertilizante é de suma importância além de trazer enormes benefícios ao desenvolvimento das plantas.

Levando em consideração que existem diferentes fontes de Si para as plantas e que a solubilidade do Si é variável entre elas, torna-se necessário verificar sua real capacidade

em aumentar os teores de Si e outros elementos no solo, além de possuir as características desejáveis como um fertilizante.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo determinar a reatividade e a disponibilidade do Si, Ca e Mg, K proveniente de Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica como fontes de Si, quando aplicadas ao solo. Também, fornecer o valor do Equivalente em Silicato de Ca para que o Ministério da Agricultura possa julgar sobre o registro do fertilizante contendo Si.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Procedimentos

A fim de determinar a reatividade e a disponibilização de silício liberado aos solos provenientes das diferentes fontes silicatadas, foi conduzido um teste de incubação na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os produtos foram incubados em dois tipos de solo, argiloso (> 60% de argila) e arenoso (< 15% de argila): Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), respectivamente. Os solos foram caracterizados quanto aos seus atributos químicos (TABELA 1) e físicos (TABELA 2).

TABELA 1. Análise química dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solos	pH CaCl ₂	P**	Si	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	CTC	V	m
		---mg dm ⁻³ ---					-----cmol _c dm ⁻³ -----					%
LVd	4,5	0,3	4,8	0,6	0,05	0,1	0,1	0,25	0,8	3,47	8	69
RQo	4,8	0,5	2,2	0,5	0,03	0,1	0,1	0,23	0,7	2,30	9	68

Observações: P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

TABELA 2. Análise física dos solos utilizados no estudo de incubação

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd	231	485	45	239
RQo	600	222	68	110

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

Os solos receberam doses crescentes de Si proveniente de uma fonte considerada padrão (Wollastonita), equivalentes a 0, 100, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de Si (TABELA 4). A partir da curva padrão fez-se a correspondência de reatividade para as fontes testadas.

O silicato de cálcio (Wollastonita - CaSiO₃) é um produto mundialmente empregado em estudos com silício e é classificado como um metassilicato de cálcio natural de alto grau de pureza, comercializado com o nome de Vansil – EW 20. Na TABELA 3 são apresentados os resultados de análise realizada no LAFER - Lab. de análise de Fertilizantes do ICIAG/UFU.

O Hydropotássio é um produto desenvolvido no Brasil pela empresa Terrativa Minerais SA, a partir da rocha natural feldspato potássico. O processo para obtenção desta fonte trata-se de uma mistura (90% K-feldspato + CaO), que passa por tratamento hidrotérmico à 200°C em baixa pressão (212 psi) por cinco horas. Após este processo, a rocha K-feldspato, se converte em uma solução amorfa contendo sílica gel e minerais com potássio prontamente disponível para liberação. O tratamento Hidrotérmico promove danificação na estrutura da rocha, fazendo com que os minerais, micronutrientes e silício, que antes estavam na forma indisponível, tenham uma maior solubilidade e maior taxa de liberação da fonte. Além disso, o tratamento proporciona geração de CTC (capacidade de troca catiônica) no produto.

O Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica é uma rocha rica em feldspato potássico, extraída pela empresa Terrativa Minerais SA, que é a fonte natural para a obtenção do Hydropotássio. Esta fonte, é rica em silício e potássio, porém os mesmo não estão prontamente disponíveis, em função da baixa solubilidade da rocha natural.

As fontes de Si foram caracterizadas quanto a seus teores Si total, Si solúvel, conforme metodologia descrita por Korndörfer et. al. (2004) e teores de CaO e MgO segundo EMBRAPA (1999). Os produtos a serem testados foram moídos até passar 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegada). As doses dos produtos (fontes de Si) a serem adicionadas aos solos serão baseadas nos teores de Si total da fonte.

TABELA 3. Caracterização química da fonte padrão (Wollastonita) e das fontes a serem testadas.

Fonte	Si Total	Si Solúvel*	CaO	MgO	K ₂ O Solúvel
	-----%				
Wollastonita	21,0	4,6	33,9	0,13	0,0
Hydropotássio	22,8	0,1	12,0	0,17	10,7
Pó de rocha	23,2	0,1	3,1	0,90	0,0

* Extração com $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$

TABELA 4. Doses de Si e de produto (fontes de Si, silicato e calcário) que deverão ser utilizadas nos 2 solos (estudo de incubação).

Fonte/Material(*)	Dose Si	Si total Fonte	Dose Fonte	
	kg/ha	%	kg/ha	g/300g solo
Controle	0	---	0,00	0,000
Wollastonita (padrão de Si)	100	21,0	476,19	0,071
Wollastonita (padrão de Si)	200	21,0	952,38	0,143
Wollastonita (padrão de Si)	400	21,0	1904,76	0,286
Wollastonita (padrão de Si)	600	21,0	2857,14	0,429
Hydropotássio	200	22,8	877,19	0,132
Hydropotássio	400	22,8	1754,39	0,263
Pó de rocha Sienítica	200	23,2	862,07	0,129
Pó de rocha Sienítica	400	23,2	1724,14	0,259

(*) As amostras (Fontes/Material) antes de serem colocadas para incubadas deverão ser moídas até passarem 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegadas).

As fontes Hydropotássio, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e Wollastonita foram misturadas com 300 g de solo seco ao ar e peneirado, dentro de um saco plástico (FIGURA 1). Após a mistura, o solo foi colocado em recipientes plásticos (FIGURA 2). Adicionou-se água destilada em quantidades iguais em cada recipiente e de acordo com a capacidade de retenção de água de cada solo, 85 ml para o Latossolo Vermelho e 65 ml para o Neossolo Quartzarênico (FIGURAS 2 e 3).



FIGURA 1. Incorporação das fontes ao solo através de saco plástico



FIGURA 2. Água adicionada nos recipientes plástico com o solo



FIGURA 3. Solo incubado em recipientes plástico tampados

Após 60 dias de reação com o solo (período de incubação) as amostras foram identificadas, secas, peneiradas e determinou-se o Si solúvel pelo método de extração em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al., (2004). As análises de pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, Ca e Mg trocáveis (EMBRAPA, 1999) foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS).

3.2 Cálculo do equivalente em silicato de cálcio

Depois de realizadas as análises laboratoriais fez-se o cálculo do Equivalente em Silicato de Cálcio (Eq.SiCa) através da seguinte fórmula:

$$\text{Eq.SiCa (\%)} = \frac{[\text{Xf200RQ} + \text{Xf200LV} + \text{Xf400RQ} + \text{Xf400LV}]}{[\text{Xw200RQ} + \text{Xw200LV} + \text{Xw400RQ} + \text{Xw400LV}]} \times 100$$

Onde:

Xw200RQ = Teor de Si no solo (wollastonita - CaSiO_3) – dose de 200 kg ha^{-1} de Si - Solo arenoso

Xw200LV = Teor de Si no solo (wollastonita - CaSiO_3) – dose de 200 kg ha^{-1} de Si - Solo argiloso

Xw400RQ = Teor de Si no solo (wollastonita - CaSiO_3) – dose de 400 kg ha^{-1} de Si - Solo arenoso

Xw400LV = Teor de Si no solo (wollastonita - CaSiO_3) – dose de 400 kg ha^{-1} de Si - Solo argiloso

Xf200RQ = Teor de Si no solo (fonte Si em teste) – dose de 200 kg ha^{-1} de Si - Solo arenoso

Xf200LV = Teor de Si no solo (fonte Si em teste) – dose de 200 kg ha^{-1} de Si - Solo argiloso

Xf400RQ = Teor de Si no solo (fonte Si em teste) – dose de 400 kg ha^{-1} de Si - Solo arenoso

Xf400LV = Teor de Si no solo (fonte Si em teste) – dose de 400 kg ha^{-1} de Si - Solo argiloso

Observação: o Eq.SiCa (%) do produto (fonte Si em teste) será calculado com base na média dos Eq.SiCa obtidos em cada solo e dose.

Os resultados dos tratamentos foram submetidos a análise de variância com auxílio do programa ASSISTAT versão 7.6 beta (ASSIS, 2012). Em caso de significância, as médias foram comparadas entre si pelos Testes de Tukey e Dunnet a 0,05 e 0,01 de significância, respectivamente. As doses de Wollastonita foram analisadas por meio de ajuste matemático (regressão polinomial) com auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Silício no solo

Em relação aos teores de silício no solo extraídos 60 dias após incubação para o solo RQo, observa-se que todas as fontes testadas proporcionaram acréscimo significativo nos teores de Si em relação a controle (TABELA 5). Desses produtos, Wollastonita, na dose de 200 e 400 kg ha⁻¹ se mostrou mais eficiente, aumentando os valores do nutriente no solo em 3,83 mg dm⁻³ e 7,05 mg dm⁻³ respectivamente. Os teores de silício disponível, extraídos no Neossolo Quartzarênico, em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, após 60 dias de incubação, aumentaram significativamente com as doses de silicato (Wollastonita) aplicadas (FIGURA 4), concordando com dados obtidos por Vidal (2003). O mesmo efeito é notado observando os resultados encontrados no Latossolo Vermelho (FIGURA 5).

Os teores de silício no solo extraídos 60 dias após incubação para o solo LVdt, observa-se que das fontes testadas Hydropotássio e a Wollastonita fonte padrão proporcionaram acréscimo significativo nos teores de Si em relação a controle (TABELA 6). Novamente Wollastonita, na dose de 200 e 400 kg ha⁻¹ se mostrou mais eficiente, aumentando os valores do nutriente no solo em 7,51 mg dm⁻³ e 10,67 mg dm⁻³ respectivamente.

Ramos (2005), avaliando fontes de silício em teste de incubação, observou também que os teores de Si disponível no solo aumentaram com as doses de Si aplicadas via padrão Wollastonita.

TABELA 5. Silício extraído com cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ após 60 dias de reação no solo RQo.

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
----- mg dm ⁻³ -----				
Wollastonita		3,83* aB	7,05* aA	5,44
Hydropotássio	1,59	3,04* bB	4,24* bA	3,64
Pó de rocha		2,32* cA	2,23* cA	2,28
Média		6,32	7,95	
DMS _{col} 0,49 DMS _{linha} 0,41 DMS _{Dunnet} 0,55 CV (%) 8				

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

TABELA 6. Silício extraído com cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ após 60 dias de reação no solo LVdt.

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
----- mg dm ⁻³ -----				
Wollastonita		7,51* aB	10,67* aA	9,09
Hydropotássio	4,69	6,30* bB	7,64* bA	6,97
Pó de rocha		5,17 cA	5,52 cA	5,35
Média		6,32	7,95	
DMS _{col} 1,02 DMS _{linha} 0,84 DMS _{Dunnet} 1,13 CV (%) 8.45				

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

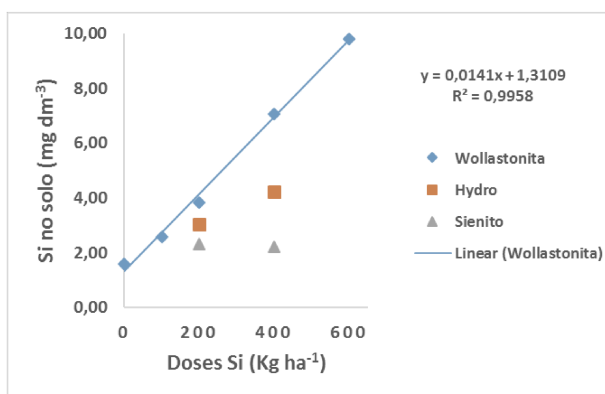


FIGURA 4. Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação.

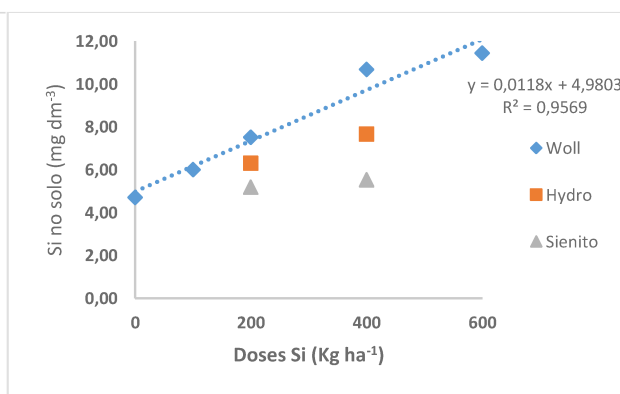


FIGURA 5. Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho, em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação.

Korndörfer et al. (1999) e Gomes et al. (2011), também observaram que houve maior disponibilidade de Si para as plantas no Latossolo Vermelho distroférico (LVdt), em relação ao Neossolo Quartzarênico (RQo). Segundo Barbosa Filho et al. (2000), os baixos teores de Si encontrados em ambos solos, está relacionado ao grau de intemperismo, clima e material de origem.

Em solos do Cerrado brasileiro, onde há um alto grau de intemperização, lixiviação e cultivos sucessivos, ocorre uma forte relação entre disponibilidade de silício para as plantas e a fertilidade natural dos solos (LIMA FILHO et al, 2005). Ainda, segundo Gomes et al. (2011) afirmam que quanto maiores os teores de quartzo no solo arenoso e baixos teores de mineral aluminossilicatado na composição do solo argiloso, menor é a disponibilidade de Si para as plantas quando avaliada por extratores como o CaCl_2 .

4.2 Equivalente em silicato de cálcio

Calculou-se o Equivalente em Silicato de Cálcio (Eq.SiCa) das fontes testadas Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica. Foram obtidos valores superiores a 45% para o solo arenoso e para o argiloso somente com a aplicação da fonte Hydropotássio. (TABELA 7). Segundo a metodologia de incubação para análise de fertilizantes contendo Si do Ministério da Agricultura, fertilizantes que atingirem valor de Eq.SiCa superior a 45% nos dois solos (arenoso e argiloso), calculados com base na fórmula apresentada, estarão habilitados para fazer o Registro junto ao Ministério da Agricultura.

TABELA 7. Equivalente em Silicato de Cálcio (Eq.SiCa) das fontes testadas.

Fonte	Equivalente em Silicato Cálcio (%)	
	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Hydropotássio	52,6	52,5
Pó de rocha Sienítica	17,1	14,8

4.3. pH, Ca e Mg do solo

Com a aplicação das fontes testadas, houve elevação do pH quanto aplicado Hydropotássio (400 Kg ha⁻¹) e Wollastonita, em solo arenoso. Contudo, a aplicação de Pó de rocha não ocasionou aumento significativo de pH (TABELAS 8).

TABELA 8. Valores de pH do solo em CaCl₂ após 60 dias de reação no solo das diferentes fontes de silício (RQo).

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
----- pH -----				
Wollastonita		4,60* aB	5,36* aA	4,98
Hydropotássio	3,8	4,05 bB	4,26* bA	4,15
Pó de rocha		3,89 bA	3,94 cA	3,89
Média		4,18	4,51	
DMS _{col} 0,163 DMS _{linha} 0,135 DMS _{Dunnet} 0,181 CV (%) 2,14				

DMS_{col} 0,163 DMS_{linha} 0,135 DMS_{Dunnet} 0,181 CV (%) 2,14

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Com a aplicação das fontes testadas, houve elevação significativa do pH para todas as doses estudadas. Sendo que na dose mais baixa 200 Kg ha⁻¹, Wollastonita foi a pior fonte quanto à correção de pH, Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica as melhores. Na dose 400 Kg ha⁻¹, ocorreu uma resposta diferente, sendo Wollastonita a fonte que mais promoveu alteração significativa de pH, como demonstrado na tabela a seguir:

TABELA 9. Valores de pH após 60 dias de reação no solo das diferentes fontes de silício (LVd).

Fonte (24 g):				
Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
----- pH -----				
Wollastonita		3,93* bB	4,22* aA	4,07
Hydropotássio	3,8	4,04* aA	4,03* bA	4,03
Pó de rocha		4,00* abA	3,99* bA	3,99
Média		4,18	4,51	

DMS_{col} 0,07 DMS_{linha} 0,06 DMS_{Dunnet} 0,08 CV (%) 1,00

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

As doses de Wollastonita proporcionaram aumentos do pH dos solos (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho) aos 60 dias de incubação (FIGURAS 6 e 7). A presença do silicato (SiO_3^{-2}) é capaz de neutralizar os prótons (H^+), segundo a equação descrita por Alcarde (1992), que mostra o efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre o pH do solo. Quanto maior a dose de silicato aplicada, maior o pH do solo (KORNDÖRFER et al., 2002 e CARDOSO, 2003).

Ramos (2005), também observou este mesmo comportamento para a fonte Wollastonita nos dois solos, em um estudo avaliando a reatividade de fontes de Si. Resultados semelhantes foram observados por Faria (2000), Cardoso (2003) e Queiroz (2003), onde a aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio aumentaram de maneira linear o pH do solo.

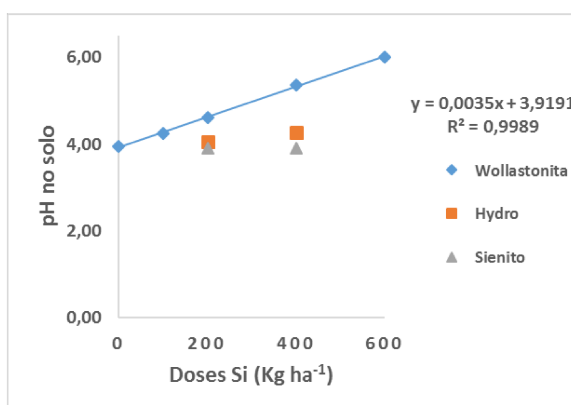


FIGURA 6. Valores de pH em CaCl_2 de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, em função da aplicação de doses de Wollastonita aos 60 dias de incubação.

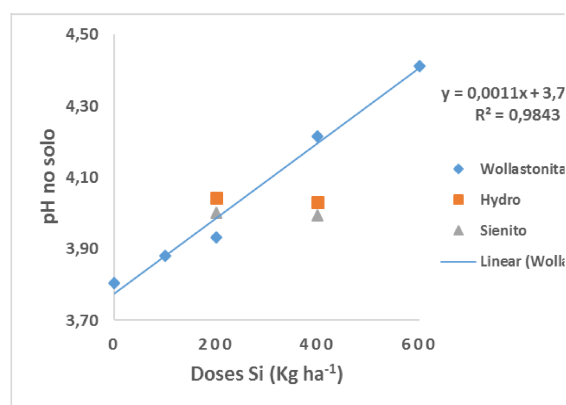


FIGURA 7. Valores de pH em CaCl_2 de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, em função da aplicação de doses de Wollastonita aos 60 dias de incubação.

Observa-se que houve fornecimento de Ca em solo arenoso (TABELA 10), para as duas doses de Wollastonita e Hydropotássio, na dose de 400 Kg ha⁻¹ de Si, contudo Wollastonita mostrou ser a melhor fonte para liberação de Ca, independente da dose aplicada.

TABELA 10. Teores de Ca após 60 dias de reação nos solos das diferentes fontes de silício (RQo).

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
	----- cmolc dm ⁻³ -----			
	--			
Wollastonita		1,2* aB	1,68* aA	1,44
Hydropotássio	0,45	0,6 bA	0,73* bA	0,66
Pó de rocha		0,35 cA	0,38 cA	0,36
Média		0,72	0,93	
DMS _{col} 0,23 DMS _{linha} 0,19 DMS _{Dunnet} 0,25 CV (%) 16,63				

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Em solo LVd, houve acréscimo de Ca para todas as fontes aplicadas, sendo Wollastonita a melhor fonte, independente da dose aplicada (TABELA 11).

TABELA 11. Teores de Ca após 60 dias de reação nos solos das diferentes fontes de silício (LVd).

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
	----- cmolc dm ⁻³ -----			
Wollastonita		0,55* aB	1,13* aA	0,84
Hydropotássio	0,1	0,40* bB	0,50* bA	0,45
Pó de rocha		0,30* cA	0,33* cA	0,31
Média		0,42	0,65	
DMS _{col} 0,99 DMS _{linha} 0,08 DMS _{Dunnet} 0,11 CV (%) 11,8				

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Quanto ao fornecimento de Mg as fontes que apresentaram resultados significativos foram Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, em solo arenoso (TABELA 12). Em LVtd, somente Hydropotássio, na dose de 400 Kg ha⁻¹ de Si apresentou resultados significativos, quando comparado a controle (TABELA 13).

TABELA 12. Teores de Mg após 60 dias de reação nos solos das diferentes fontes de silício (RQo).

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
	----- cmolc dm ⁻³ -----			
Wollastonita		0,27	0,27	0,27 a
Hydropotássio	0,27	0,20*	0,18*	0,19 b
Pó de rocha		0,20*	0,19*	0,19 b
Média		0,22	0,22	

DMS_{col} 0,012 DMS_{linha} 0,008 DMS_{Dunnet} 0,020 CV (%) 4,28

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância;
* significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

TABELA 13. Valores de Mg após 60 dias de reação nos solos das diferentes fontes de silício (LVd).

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
	----- cmolc dm ⁻³ -----			
Wollastonita		0,10	0,10	0,10 b
Hydropotássio	0,10	0,13	0,15*	0,14 a
Pó de rocha		0,12	0,13	0,13 ab
Média		0,12	0,13	

DMS_{col} 0,02 DMS_{linha} 0,08 DMS_{Dunnet} 0,04 CV (%) 11,8

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância;
* significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Os teores de Ca trocável, nos dois solos Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, aumentaram com as doses de Wollastonita aos 60 dias de incubação. Esses aumentos são devidos à característica da fonte, um silicato de cálcio de alta pureza e alta reatividade.

Ramos (2005), em seus estudos também observou aumento nos teores de Ca trocável com o aumento das doses de Si aplicadas via Wollastonita. O aumento nos teores de Ca trocável já era esperado devido à alta pureza e alta reatividade da fonte padrão Wollastonita.

TABELA 14. Potássio extraído com solução Mehlich 1M, após 60 dias de reação no solo RQo.

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
	----- mg dm ⁻³ -----			
Wollastonita		14,75 cA	15,00 cA	14,88
Hydropotássio	17,5	26,25* aB	37,5* aA	31,88
Pó de rocha		20,5* bB	25,25* bA	22,88
Média		20,5	25,92	
DMS _{col} 2,56	DMS _{linha} 2,11	DMS _{Dunnet} 2,83	CV (%) 6,41	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

TABELA 15. Potássio extraído com solução Mehlich 1M, após 60 dias de reação no solo LVd.

Fontes	Doses Si (Kg ha ⁻¹)			Média
	0	200	400	
	----- mg dm ⁻³ -----			
Wollastonita		25,75	26,50	26,13 c
Hydropotássio	31,0	36,75*	41,75*	39,25 a
Pó de rocha		31,00	33,25	32,13 b
Média		31,17 B	33,83 A	
DMS _{col} 3,01	DMS _{linha} 2,03	DMS _{Dunnet} 4,71	CV (%) 7,4	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

Observou-se na TABELA 14, que Hydropotássio e Pó de rocha, foram as fontes que disponibilizaram potássio, quando comparadas à testemunha, independente da dose aplicada. Podemos observar também, que Hydropotássio foi a fonte que proporcionou maior aumento no teor de potássio no RQo.

Para teores de potássio no solo LVd, 60 dias após incubação, observamos que Hydropotássio foi a única fonte que se diferiu da testemunha, disponibilizando potássio de forma significativa no solo. Não houve diferença significativa para a interação entre os fatores dose e fonte, contudo podemos analisar que a fonte que apresentou a maior média foi Hydropotássio, quando aplicado na dose de 400 Kg ha⁻¹ de Si.

5. CONCLUSÕES

Os resultados do teste de incubação indicam que o produto Hydropotássio está apto para registro junto ao Ministério da Agricultura, como fertilizante contendo Si, porque apresentou Equivalente em Silicato de Cálcio superior a 45% nos dois solos estudados, enquanto que o Pó de Rocha Sienítica Ultrapotássica não está apto para registro como fertilizante contendo Si porque apresentou Equivalente em Silicato de Cálcio inferior a 45% nos dois solos estudados.

CAPÍTULO 02 – TESTE BIOLÓGICO

RESUMO

RODRIGUES, VINÍCIUS WILLIAM BORGES. **Eficiência agronômica do Hydropotássio e do Pó de rocha como fonte de silício e potássio para as plantas.**

O silício (Si) é um micronutriente e tem proporcionado inúmeros benefícios para as plantas, principalmente para as gramíneas como o arroz (*Oryza sativa*), planta acumuladora de silício. Dentre as principais fontes de Si estão as de origem natural (rochas), agregados siderúrgicos e subprodutos da fabricação de fertilizantes fosfatados. Existem hoje várias fontes de Si, no entanto, é necessário identificar aquelas com maior eficiência agronômica e garantias necessárias para que possam ser comercializadas como fertilizantes ou corretivos de solo. Dessa forma, objetivou-se determinar a capacidade de três fontes de Si em fornecer este nutriente potássio para o solo e para a cultura do arroz. Para isso foi realizado um experimento em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia – MG, com dois tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd). O teste foi montado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, e 10 tratamentos arranjados em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$ sendo as fontes de Si (Hydropotássio, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e a fonte padrão Wollastonita), três doses de Si (400, 600 e 800 kg ha⁻¹) e o controle sem aplicação de Si. A quantidade de produto aplicada foi calculada baseada no teor de Si total de cada fonte. Foram realizados dois cultivos consecutivos a fim de avaliar o efeito residual das fontes. O arroz foi semeado e colhido após 70 DAS (dias após semeadura), antes do florescimento. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso com 5 kg de solo e 7 plantas de arroz da cultivar BRS Atalanta. As variáveis avaliadas foram Si, Ca, Mg, K e pH do solo, Nutrientes na parte aérea da planta, Nutrientes acumulados e produção de massa seca. Em solo LVd, Wollastonita foi a melhor fonte para fornecimento de Si e manteve os teores de potássio. Hydropotássio foi a fonte que apresentou menor eficiência para produção de massa seca. Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica foi a fonte que apresentou maior eficiência para liberação de potássio e acúmulo pelas plantas.

Palavras-chave: teste biológico, silicato, Ca, Mg, pH, K.

ABSTRACT

RODRIGUES, VINÍCIUS WILLIAM BORGES. **Agronomic efficiency of Hydropotassium and Rock Dust as a source of silicon and potassium for plants.**

Silicon (Si) is a micronutrient and has provided numerous benefits for plants, especially for grasses such as rice (*Oryza sativa*), silicon accumulating plant. Among the main sources of Si are those of natural origin (rocks), steel aggregates and by-products from the manufacture of phosphate fertilizers. There are several sources of Si today, however, it is necessary to identify those with the highest agronomic efficiency and the necessary guarantees so that they can be marketed as fertilizers or soil correctives. Thus, the objective of this study was to determine the capacity of three Si sources to provide this nutrient potassium to soil and rice crop. For this, a greenhouse experiment was carried out at Uberlândia Federal University (UFU), Uberlândia, MG, Brazil, with two types of soil: Quartzarenic orthoses (RQo) and Dystrophic Red Latosol (LVd). The test was assembled in a randomized complete block design with four replications and 10 treatments arranged in a $3 \times 3 + 1$ factorial scheme. The sources of Si (Hydropotassium, Ultrapotassic Sienitic Rock Powder and standard Wollastonite source) were three Si doses, 600 and 800 kg ha⁻¹) and the control without application of Si. The amount of product applied was calculated based on the total Si content of each source. Two consecutive cultures were carried out in order to evaluate the residual effect of the sources. The rice was sown and harvested after 70 DAS (days after sowing), before flowering. Each experimental plot consisted of a pot with 5 kg of soil and 7 rice plants of the cultivar BRS Atalanta. The evaluated variables were Si, Ca, Mg, K and pH of the soil, Nutrients in the aerial part of the plant, accumulated nutrients and dry mass production. In LVd soil, Wollastonite was the best source for Si supply and maintained potassium contents. Hydropotassium was the source that presented lower efficiency for dry mass production. Ultrapotassic Sienitic Rock Powder was the source that presented the highest efficiency for the release of potassium and accumulation by plants.

Key words: biological test, silicate, Ca, Mg, pH, K.

1. INTRODUÇÃO

Em solos com alto grau de intemperismo, como o Cerrado brasileiro, pobres em silício, a aplicação de silicatos e outras fontes como fertilizantes e corretivos pode ser de suma importância para repor e aumentar a disponibilidade desse nutriente para o solo, trazendo inúmeros benefícios para as plantas, principalmente às acumuladoras desse elemento.

O Si é absorvido pelas raízes das plantas, por difusão, na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), sendo que o processo de dissolução do ácido para sílica amorfa, através da membrana pode ocorrer via apoplasto ou simplasto (MA et al., 2006; 2007).

A adubação silicatada já é uma prática bastante comum em vários países, visto que esta prática trouxe diversos benefícios às plantas. O efeito benéfico dos silicatos está relacionado diretamente com o Silício solúvel das fontes, à elevação do pH como também no aumento de outros nutrientes que esses produtos podem conter (RAMOS, 2005).

Devido aos vários benefícios que o silício proporciona para as plantas, principalmente as acumuladoras, este nutriente passou a ser reconhecido, desde janeiro de 2004 pela legislação brasileira de fertilizantes, um micronutriente (BRASIL, 2004). Dessa forma, os produtos fontes de silício, para serem comercializados, necessitam de garantias mínimas como critérios de granulometria, solubilidade, boa relação Ca/Mg e ausência de contaminantes.

Dentre as plantas acumuladoras de silício, o arroz tem sido usado como um modelo para pesquisas envolvendo a nutrição de Si em plantas. Isto devido à sua alta capacidade de absorção e resposta à aplicação de silício. Para essas plantas o suprimento de Si proporciona maior eficiência fotossintética, aumenta a resistência contra o ataque de fungos e insetos, reduz o estresse hídrico, acarretando no aumento da produtividade.

As fontes de silício mais utilizadas são as rochas naturais, agregados siderúrgicos e resíduos da fabricação de fósforo elementar. Contudo, muitas fontes ainda necessitam ser investigadas, para sabermos se as mesmas atendem ou não as exigências mínimas para padrões de comercialização como fertilizantes.

O potássio é o segundo elemento de maior importância para as plantas. Apresenta altos teores do nutriente nas folhas e mesmo nas partes colhidas, com exceção de grãos amiláceos. O potássio é absorvido como K^+ pelas plantas e o nutriente mantém-se sempre nesta forma, sendo o mais importante cátion na fisiologia vegetal. Não fazendo parte de compostos específicos, a função do potássio não é estrutural. Dentre as funções do potássio nas plantas, destacam-se o papel de ativador de funções enzimáticas e de manutenção da turgidez das células.

A ação destas fontes está relacionada principalmente ao fornecimento de silício ao solo e às plantas pelo comportamento similar aos carbonatos, ou seja, funcionam como corretivos de acidez elevando o pH do solo, por conterem em sua composição, CaO e MgO (RAMOS, 2005).

Sabendo-se destas várias fontes que poderiam ser comercializadas como fonte de silício e corretivos de acidez, o presente trabalho buscou investigar e identificar, quais seriam os produtos viáveis, que poderiam ser potencialmente aproveitados na agricultura.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade das fontes Hydropotássio e Pó de Rocha Sienítica Ultrapotássica, em fornecer Si, Ca, Mg e K para o solo. Também, avaliar a produção de massa seca para a cultura do arroz e sua capacidade de acúmulo destes nutrientes.

3. METODOLOGIA

O experimento foi realizado em vasos na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia. A cultura instalada foi o arroz e foram utilizados dois tipos de solos, um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) os quais estão caracterizados nas tabelas abaixo (TABELA 16 e TABELA 17).

TABELA 16. Análise química dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solos	pH CaCl ₂	P**	Si	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	CTC	V	m
		---mg dm ⁻³ ---										%
LVd	4,5	0,3	4,8	0,6	0,05	0,1	0,1	0,25	0,8	3,47	8	69
RQo	4,8	0,5	2,2	0,5	0,03	0,1	0,1	0,23	0,7	2,30	9	68

Observações: P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

TABELA 17. Análise física dos solos utilizados no estudo de incubação

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	g kg ⁻¹			
LVd	231	485	45	239
RQo	600	222	68	110

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Utilizou-se esquema fatorial 3x3+1, sendo três fontes de Si caracterizadas na Tabela 3, três doses de Si (400, 600 e 800 kg ha⁻¹ de Si) e a controle sem aplicação de Si. Os fertilizantes contendo Si foram caracterizados quanto a seus teores de Si total, Si solúvel, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al, (2004) e teores de CaO e MgO segundo EMBRAPA (1999), como pode ser observado na Tabela 3.

Para análise do Si, os fertilizantes foram moídos até passarem 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegada). A dose de Si de cada produto a ser adicionada nos vasos, foi calculada baseado nos teores de Si total de cada fonte (TABELA 18).

TABELA 18. Caracterização química da fonte padrão (Wollastonita) e das fontes a serem testadas.

Fonte	Si Total	Si Solúvel*	CaO	MgO	K ₂ O Solúvel
	%				
Wollastonita	21,0	4,6	33,9	0,13	0,0
Hydropotássio	22,8	0,1	12,0	0,17	10,7
Pó de rocha	23,2	0,1	3,1	0,90	0,0

* Extração com NH₄NO₃ + Na₂CO₃

TABELA 19. Tratamentos aplicados em duas amostras de solos (Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) acondicionados em vasos de 5 kg.

Fontes de Si	Dose Si Kg ha ⁻¹	Dose K ₂ O Kg ha ⁻¹	Teor K ₂ O	Si Total (%)	Dose Fonte Kg ha ⁻¹	Dose KCl Kg ha ⁻¹	Dose fonte/vaso g vaso ⁻¹	KCl g vaso ⁻¹
Controle	0	190	0,0	0,0	0	316,67	0,00	0,79
Wollastonita	200	190	0,0	23,0	870	316,67	2,17	0,79
Wollastonita	400	190	0,0	23,0	1739	316,67	4,35	0,79
Wollastonita	600	190	0,0	23,0	2609	316,67	6,52	0,79
Wollastonita	800	190	0,0	23,0	3478	316,67	8,70	0,79
Hydropotássio	400	190	10,7	22,8	1776	0,00	4,44	0,00
Hydropotássio	600	285	10,7	22,8	2664	0,00	6,66	0,00
Hydropotássio	800	380	10,7	22,8	3551	0,00	8,88	0,00
Pó de rocha Sienítica	400	190	0,0	23,2	1724	316,67	4,31	0,79
Pó de rocha Sienítica	600	190	0,0	23,2	2586	316,67	6,70	0,79
Pó de rocha Sienítica	800	190	0,0	23,2	3448	316,67	8,62	0,79

O silicato de cálcio (Wollastonita - CaSiO₃) é um produto mundialmente empregado em estudos com silício e é classificado como um metassilicato de cálcio natural de alto grau de pureza, comercializado com o nome de Vansil – EW 20. Na TABELA 18 são apresentados os resultados de análise realizada no LAFER - Lab. de análise de Fertilizantes do ICIAG/UFU.

O Hydropotássio é um produto desenvolvido no Brasil pela empresa Terrativa Minerais SA, a partir da rocha natural feldspato potássico. O processo para obtenção desta fonte trata-se de uma mistura (90% K-feldspato + CaO), que passa por tratamento hidrotérmico à 200°C em baixa pressão (212 psi) por cinco horas. Após este processo, a rocha K-feldspato, se converte em uma solução amorfa contendo sílica gel e minerais com potássio prontamente disponível para liberação. O tratamento Hidrotérmico promove danificação na estrutura da rocha, fazendo com que os minerais, micronutrientes e silício, que antes estavam na forma indisponível, tenham uma maior solubilidade e maior taxa de liberação da fonte. Além disso, o tratamento proporciona geração de CTC (capacidade de troca catiônica) no produto.

O K-feldspato é uma rocha rico em Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, que é a fonte natural para a obtenção do Hydropotássio. Esta fonte, é rica em silício e potássio, porém os mesmo não estão prontamente disponíveis, em função da baixa solubilidade da rocha natural.

As unidades experimentais foram constituídas de vasos contendo 5 kg de amostra de terra fina seca ao ar (TFSA). Os vasos foram mantidos em o cultivo inundado do arroz, à partir 10 DAS.

Os tratamentos (TABELA 19) foram misturados com os solos 15 dias antes da semeadura (incubação). Adicionou-se $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ na proporção 1 g kg^{-1} e 0,3 g kg^{-1} respectivamente, que cada tratamento exigiu, de forma que todos recebessem a mesma quantidade de Ca e Mg isolando assim o efeito do Si liberado pelas fontes sobre as plantas, e para que a saturação por bases do solo (V%) fosse corrigida para aproximadamente 60%. Antes da semeadura os solos receberam 200 mg kg^{-1} de N, 400 mg kg^{-1} de P_2O_5 , provenientes das fontes sulfato de amônio, superfosfato triplo, respectivamente, e 50 mg kg^{-1} do produto FTE BR-12 contendo 9% Zn; 5,7% S; 2% Mn; 1,8% B; 0,8% Cu; 0,1% Mo.

A semeadura do arroz foi feita na profundidade aproximada de 2 cm, distribuindo-se 15 sementes viáveis por vaso. Foi realizada no dia 21/04/2016 com a cultivar BRS - Atalanta. Trata-se de uma cultivar adaptada às condições climáticas do Triângulo Mineiro, e apresenta ciclo curto.

Após a emergência das sementes foi efetuado o desbaste, deixando 7 plantas por vaso. Aos 15 e 30 DAS (dias após a semeadura) de cada cultura, foi realizada a adubação de cobertura com 50 mg dm^{-3} de nitrogênio, utilizando como fonte o sulfato de amônio. Aos 70 DAS, foram retiradas, com o auxílio de um trado, amostras de solo para análise.

3.1 Análise de Nutrientes na Parte Aérea

Para a cultura do arroz, a parte aérea das plantas foi colhida 70 DAS com o auxílio de uma tesoura de poda, e posteriormente colocadas em sacos de papel e levadas para a estufa a 65° C, para serem secas até obterem peso constante. Após serem retiradas da estufa, as plantas foram pesadas para obtenção da massa seca, e posteriormente moídas para que fossem submetidas à análise dos teores de Si, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al, (2004) e teores de Ca, Mg e K segundo EMBRAPA (1999). Parte aérea (KORNDÖRFER et al, 2004). A quantidade de Si acumulado pela parte aérea foi

obtida através dos resultados de produção de massa seca e da concentração do nutriente na parte aérea de ambas as culturas.

3.2 Análise de Nutrientes e pH no Solo

Após a colheita da parte aérea do arroz, foram retiradas amostras de solo de cada vaso, com auxílio de um trado para determinar o teor de Si disponível extraído com CaCl_2 0,01M (KORNDORFER et al., 2004).

3.3 Análise de Nutrientes Acumulados

Utilizando os valores de teor dos nutrientes na parte aérea e a massa seca (g vaso^{-1}) do cultivo, calculou-se o acúmulo de nutrientes pelas plantas por vaso no tratamento controle, Hydropotássio, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e Wollastonita.

Nutriente acumulado (mg vaso^{-1}) = Teor do nutriente parte aérea (g Kg^{-1}) x Massa Seca parte aérea (g vaso^{-1}).

3.4 Análises Estatísticas

Os resultados dos tratamentos foram submetidos a análise de variância com auxílio do programa ASSISTAT versão 7.6 beta (ASSIS, 2012). Em caso de significância, as médias foram comparadas entre si pelos Testes de Tukey e Dunnet a 0,05 e 0,01 de significância, respectivamente. As doses de Si foram analisadas por meio de ajuste matemático (regressão polinomial) com auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da Parte Aérea do Arroz

Quanto aos teores de magnésio (Mg) na parte aérea do arroz, observou-se para o LVd que independente da dose aplicada, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica

apresentou os menores resultados para acumulação do nutriente na folha, sendo que estes em comparação à controle apresentaram resultados inferiores. Observou também, que para o Hydropotássio à medida em que aumentou a dose aplicada, o teor de Mg reduz gradativamente, sendo que a dose de 400 kg ha⁻¹ apresentou o maior teor e a dose 800 Kg ha⁻¹ o menor, quando comparado as demais fontes e controle (TABELA 20). Para o Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), não houve diferença nos teores de Mg na folha, para as fontes aplicadas (TABELA 21).

Com relação ao teor de potássio (K) na parte aérea do arroz em LVd, novamente à medida em aumentou a dose aplicada das fontes, o teor do nutriente reduziu gradativamente para Hydropotássio, sendo que na dose de 800 kg ha⁻¹, apresentou o mais baixo teor 12,00 g Kg⁻¹ de potássio. Na dose intermediária (600 kg ha⁻¹), a Wollastonita foi superior as demais fontes de silício (TABELA 20). Apresentando também numericamente o maior valor para teor de potássio, quando comparada à controle. Observa-se também, que na menor dose (400 kg ha⁻¹), o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica apresentou o menor teor de potássio na folha 18,38 g Kg⁻¹ de massa seca; e quando comparada à controle, independente da dose, esta fonte apresentou resultados inferiores à mesma. Diferentemente do Latossolo Vermelho distrófico, observou que o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica no RQo, apresentou-se como a melhor fonte capaz de fornecer o nutriente para as plantas de maneira significativa, quando comparado as demais fontes e à controle, independente da dose aplicada (TABELA 21). Podemos observar ainda que, mesmo o Hydropotássio apresentando potássio em sua composição, este conseguiu equiparar-se à Wollastonita apenas na menor dose (400 Kg ha⁻¹) (TABELA 21).

Para o Latossolo Vermelho, o aumento nos valores de Si na parte aérea foi superior com a aplicação de Wollastonita, em todas das doses, havendo então comportamento linear entre dose de Si aplicada e incremento no teor de Si na planta (TABELA 20). Ramos et al. (2008), também observou que com o aumento na dose da Wollastonita aumentou-se os teores de Si na parte aérea do arroz. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (2004). Para as demais fontes, Hydropotássio e Pó de rocha

Sienítica Ultrapotássica, mesmo com o aumento na dose, não houve acréscimo significativo para incremento no teor de Si na planta.

Fernandes et al. (2010) avaliando doses crescentes de silicato de cálcio para a cultura do trigo, também observou incremento no teor de silício de forma linear. Faria (2000), avaliando a influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico em um Neossolo Quartzarênico, observou aumento nos teores de Si na parte aérea do arroz à medida que se aumentou a dose de Si, com valores variando de 9 a 21 g Kg⁻¹ (doses de 0 a 600 Kg ha⁻¹ de Si respectivamente), concordando com o que foi observado neste trabalho para o Latossolo Vermelho (TABELA 20).

TABELA 20. Teores de nutrientes na parte aérea do arroz colhido 70 DAS em Latossolo Vermelho distrófico 100 dias após a aplicação.

Fontes de Si				
Doses Si	Wollastonita	Hydropotássio	Pó de rocha	
Kg ha ⁻¹	Mg na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		12,30		
400	10,30 Aa	11,85 Aa	5,10 Ba*	9,08
600	9,85 Aa	9,03 Aa	5,18 Ba*	8,02
800	10,08 Aa	4,35 Bb*	4,85 Ba*	6,43
Média	10,08	8,41	5,04	
DMScol 3,32	DMSlin 3,32	DMSDun 3,86	CV (%) 22,9	
Kg ha ⁻¹	K na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		32,25		
400	29,50 Aa	29,50 Aa	18,38 Ba*	25,79
600	33,25 Aa	25,00 Ba	20,75 Ba*	26,33
800	26,25 Aa	12,00 Bb*	19,25 Aba*	19,17
Média	29,67	22,17	19,46	
DMScol 7,36	DMSlin 7,36	DMSDun 8,55	CV (%) 17,08	
Kg ha ⁻¹	Si na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		8,08		
400	20,92 Ab*	17,73 Ba*	9,50 Ca	16,05
600	21,54 Ab*	15,66 Ba*	10,13 Ca	15,78
800	25,71 Aa*	17,70 Ba*	9,35 Ca	17,59
Média	22,72	17,03	9,66	
DMScol 2,42	DMSlin 2,42	DMSDun 2,82	CV (%) 8,85	
Kg ha ⁻¹	Ca na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		16,30		
400	15,95 Aa	19,20 Aa	6,38 Ba*	13,84
600	16,73 Aa	14,00 Aa	5,50 Ba*	12,08
800	18,35 Aa	4,75 Bb*	5,10 Ba*	9,40
Média	17,01	12,65	5,66	
DMScol 6,54	DMSlin 6,54	DMSDun 7,61	CV (%) 30,6	
Kg ha ⁻¹	Massa seca (g/vaso)			Média
0		32,86		
400	32,59	17,26 *	31,81	27,22
600	33,35	27,49	30,46	30,43
800	36,84	27,89	32,94	32,56
Média	34,26 A	24,21 B	31,74 A	
DMScol 5,14	DMSlin 5,14	DMSDun 10,35	CV (%) 16,76	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

TABELA 21. Teores de nutrientes na parte aérea do arroz colhido 70 DAS em Neossolo Quartzarênico órtico 100 dias após a aplicação.

Fontes de Si				
Doses Si	Wollastonita	Hydropotássio	Pó de rocha	
Kg ha ⁻¹	Mg na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		5,35		
400	4,53	6,20	4,98	5,24
600	5,38	6,28	5,73	5,80
800	4,83	4,70	5,88	5,14
Média	4,91	5,73	5,53	
DMScol 1,53	DMSlin 1,53	DMSDun 1,77	CV (%) 16,2	
Kg ha ⁻¹	K na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		12,50		
400	18,25	13,25	21,50 *	17,67
600	18,75	14,50	27,00 *	20,08
800	14,50	18,25	24,75 *	19,17
Média	17,17 B	15,33 B	24,42 A	
DMScol 3,50	DMSlin 3,50	DMSDun 7,01	CV (%) 18,9	
Kg ha ⁻¹	Si na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		8,79		
400	16,93 Bc*	19,45 Aa*	8,44 Ca	14,94
600	20,44 Ab*	19,23 Aa*	7,79 Bab	15,82
800	26,68 Aa*	16,83 Bb*	6,61 Cb*	16,71
Média	21,35	18,50	7,61	
DMScol 1,74	DMSlin 1,74	DMSDun 2,02	CV (%) 6,6	
Kg ha ⁻¹	Ca na folha (g Kg ⁻¹)			Média
0		6,60		
400	7,23	8,07	5,75	7,02
600	9,18	8,18	6,90	8,09
800	9,13	8,20	6,70	8,01
Média	8,51 A	8,15 AB	6,45 B	
DMScol 1,80	DMSlin 1,80	DMSDun 3,61	CV (%) 23,4	
Kg ha ⁻¹	Massa seca (g/vaso)			Média
0		26,35		
400	28,54	14,34 *	25,86	22,91 b
600	33,10	19,91	27,92	26,98 a
800	31,72	23,81	26,70	27,41 a
Média	31,12 A	19,35 C	26,83 B	
DMScol 3,63	DMSlin 3,63	DMSDun 7,30	CV (%) 13,9	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

A Wollastonita foi a melhor fonte para incremento de no teor de Si e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica a pior, independente da dose aplicada. Sendo que esta, foi a única fonte que não se diferiu do controle, mostrando que a fonte possui baixa solubilidade em relação as demais, a qual foi menos eficiente em fornecer Si para o solo e consequentemente proporcionou menor absorção do nutriente pelas plantas de arroz. Silva (2002), estudando fontes de silício observou que Wollastonita apresentou os melhores resultados para incremento de teor de Si foliar quando comparado à outras fontes, isso devido ao maior grau de pureza e solubilidade da fonte padrão (TABELA 20).

Pode-se observar na TABELA 20, que houve um aumento significativo em incremento no teor de Si foliar para Wollastonita e Hydropotássio para todas as doses aplicadas, em relação a controle. Mostrando que estas fontes, apresentaram boa solubilidade, fornecendo o nutriente para a absorção da planta.

Segundo Korndorfer et al. (1999) os teores de Si na planta são classificados como baixo, menor que 17 g kg^{-1} , médio entre 17 e 34 g kg^{-1} e alto acima de 34 g kg^{-1} . Assim, apenas as fontes Wollastonita e Hydropotássio em LVd, conseguiram atingir teores médios de Si na planta. A aplicação destas fontes de Si, atingiram teores médio para todas as doses aplicadas (TABELA 20).

Para o RQo, observou também um aumento nos valores de Si na parte aérea com a aplicação de Wollastonita, havendo então comportamento linear entre dose de Si aplicada e incremento no teor de Si na planta. O Hydropotássio, é a fonte que apresentou maior incremento no teor de silício na dose 400 kg ha^{-1} , mostrando-se uma boa opção para fornecimento de silício para arroz nesta menor dose. Para as demais fontes, Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, mesmo com o aumento na dose, não houve acréscimo significativo para incremento no teor de Si na planta (TABELA 21).

À medida em que se aumentou a dose aplicada, a eficiência do Hydropotássio caiu gradativamente, sendo igual à Wollastonita na dose 600 kg ha^{-1} e inferior a mesma na dose 800 kg ha^{-1} . Este comportamento de decréscimo no teor em função da dose, foi observado também para o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, sendo que esta fonte

apresentou o menor teor de Si quando comparada as demais fontes e controle (TABELA 21).

Hydropotássio foi a melhor fonte para incremento de no teor de Si na dose 400 kg ha⁻¹ e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica a que apresentou menos, independente da dose. Quando se aumentou a dose para 600 kg ha⁻¹ Wollastonita, mostrou-se tão eficiente quanto Hydropotássio, sendo as fontes que apresentaram maior solubilidade e fornecimento de silício para absorção da cultura, quando comparadas ao Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e à controle (TABELA 21).

Pode-se observar que as fontes Wollastonita e Hydropotássio em RQo, conseguiram atingir teores médios de Si na planta, com exceção para a dose 600 kg ha⁻¹ de Wollastonita, que de acordo com Korndorfer et al., (1999), é classificado com baixo teor de Si (TABELA 21).

Quanto aos teores de cálcio (Ca) na parte aérea do arroz, observou-se para o LVd, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica apresentou os piores resultados para incremento do nutriente na folha, com exceção para a dose 800 kg ha⁻¹ em que Hydropotássio apresentou juntamente com o Pó de rocha, o pior resultado para Ca na folha, comparado a Wollastonita e controle. Podemos observar ainda, que independente da dose, os valores de Ca observados na folha, com a aplicação de Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica são inferiores quando comparado ao controle. Observa-se também que para o Hydropotássio à medida em que aumentamos a dose aplicada, o teor de Ca reduz gradativamente, sendo que na dose de 400 kg ha⁻¹ apresentou o maior teor e na dose 800 kg ha⁻¹ o menor, quando comparado as demais fontes e controle. Com relação a Wollastonita, percebe-se um aumento linear nos teores de Ca foliar à medida em que se aumentou a dose, mesmo que este não foi significativo (TABELA 20).

Para RQo, não houve diferença significativa entre as fontes e doses aplicadas, sendo que para as fontes, podemos dizer que Wollastonita e Hydropotássio apresentaram as melhores médias para incremento de Ca no teor foliar e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica a menor. Contudo, em relação à controle, nenhuma fonte, independente da dose, foi capaz de aumentar significativamente o teor de Ca (TABELA 21).

Quanto aos valores de massa seca do arroz para o LVd, a fonte padrão Wollastonita e Hydropotássio, proporcionaram incremento na matéria seca, com o aumento da dose aplicada. Contudo, independente da dose utilizada, Wollastonita e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica apresentaram as maiores médias para ganho de massa seca, sendo a utilização de Hydropotássio como fonte a menor. Apesar das fontes Wollastonita e Hydropotássio terem incrementado os teores de massa seca, em todas as doses de Si, somente foi observado efeito significativo no valor da massa seca na dose 400 kg ha⁻¹ do Hydropotássio, onde este apresentou-se inferior quando comparado à controle. Para as demais doses e fontes de silício, não houve aumento significativo no aumento da produção de massa seca das plantas de arroz (TABELA 20).

Em relação aos valores de massa seca do arroz para o RQo a fonte padrão Wollastonita e Hydropotássio, proporcionaram incremento na matéria seca, com o aumento da dose aplicada. Contudo, independente da dose utilizada, Wollastonita apresentou a maior média para ganho de massa seca, sendo a utilização de Hydropotássio como fonte a pior. Apesar das fontes Wollastonita e Hydropotássio terem incrementado os teores de massa seca, novamente foi observado efeito significativo no valor da massa seca na dose 400 kg ha⁻¹ do Hydropotássio, onde este apresentou-se inferior quando comparado à controle (TABELA 21).

Resultado oposto foi encontrado por Silva (2013) e Ramos et al., (2008), que estudando o efeito das concentrações de Si, observaram que a presença do silício favoreceu o crescimento da matéria seca da parte aérea das plantas de forma significativa, quando comparadas à controle.

4.2 Análise dos Nutrientes e pH no Solo

Quanto aos teores de magnésio (Mg) disponíveis no solo LVd, após cultivo do arroz, observou-se que independente da dose aplicada, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica apresentou os menores resultados para disponibilidade do nutriente no solo, possivelmente devido à baixa concentração e solubilidade da fonte. As demais fontes, apresentaram as maiores médias, sendo que, a que mais se destacou para efeito

de disponibilidade do nutriente para o solo, foi o Hydropotássio, tendo como média 0,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Contudo, observamos que nenhuma das fontes, independente da dose foi capaz de fornecer nutriente e se diferir quanto à controle (TABELA 22).

Observou também, que para a Wollastonita à medida em que aumentou a dose aplicada, o Mg disponível teve um aumento linear, mesmo não apresentando diferença significativa. Diferentemente do Latossolo Vermelho, no Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), a fonte que apresentou as maiores médias para disponibilidade de nutrientes no solo foi o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e Wollastonita as piores médias. Contudo, observou também que nenhuma das fontes, independente da dose foi capaz de fornecer nutriente e se diferir quanto à controle (TABELA 23).

Com relação ao teor de potássio (K) disponível no solo, para ambos solos, a fonte que se mostrou mais eficiente, apresentando a maior média para K disponível foi o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, reflexo do que observado anteriormente na TABELA 21, quando na parte aérea do arroz, foi a fonte que se destacou diferindo das demais como também do controle, mostrando assim eficiência na liberação e absorção do nutriente pelas plantas.

No solo RQo, o Hydropotássio na dose de 400 kg ha^{-1} , apresentou o menor teor de nutriente disponível 9,25 mg dm^{-3} de potássio, quando comparado à controle. Para as demais fontes e doses, não houve diferença significativa para disponibilidade do nutriente, quando comparadas à controle.

Observa-se ainda, que no solo RQo independente da fonte aplicada, a dose que mostrou ser a mais eficiente para a disponibilidade e fornecimento de potássio para as plantas foi a de 600 kg ha^{-1} .

TABELA 22. Teores de nutrientes e pH no solo em Latossolo Vermelho distrófico 100 dias após a aplicação das fontes (Wollastonita, Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica).

Fontes de Silício				
Doses Si	Wollastonita	Hydropotássio	Pó de rocha	
Kg ha ⁻¹	Mg no solo (cmol _c dm ⁻³)			Média
0		0,79		
400	0,80	0,89	0,77	0,82
600	0,82	1,03	0,68	0,84
800	0,84	0,90	0,83	0,86
Média	0,82 AB	0,94 A	0,76 B	
DMScol 0,17	DMSlin 0,17	DMSDun 0,35	CV (%) 20,51	
Kg ha ⁻¹	K no solo (mg dm ⁻³)			Média
0		17,25		
400	18,00	13,00	23,50	18,17
600	18,75	14,50	25,00	19,42
800	19,00	13,50	27,50	20,00
Média	18,58 B	13,67 B	25,33 A	
DMScol 5,27	DMSlin 5,27	DMSDun 10,72	CV (%) 10,60	
Kg ha ⁻¹	Si no solo (mg dm ⁻³)			Média
0		3,74		
400	7,31 Ab*	5,22 Ba	4,33 Ba	5,62
600	8,60 Ab*	5,36 Ba	3,58 Ca	5,85
800	10,84 Aa*	4,68 Ba	4,25 Ba	6,59
Média	8,92	5,09	4,05	
DMScol 1,58	DMSlin 1,58	DMSDun 1,84	CV (%) 15,58	
Kg ha ⁻¹	Ca no solo (cmol _c dm ⁻³)			Média
0		2,85		
400	4,11 *	2,98	3,04	3,38
600	4,16 *	3,70	2,78	3,55
800	4,39 *	3,89	3,33	3,87
Média	4,22 A	3,52 B	3,05 B	
DMScol 0,54	DMSlin 0,54	DMSDun 1,08	CV (%) 15,05	
Kg ha ⁻¹	pH no solo			Média
0		4,44		
400	4,66	4,48	4,45	4,53
600	4,53	4,53	4,53	4,53
800	5,04 *	4,48	4,59	4,70
Média	4,74 A	4,50 B	4,52 B	
DMScol 0,20	DMSlin 0,20	DMSDun 0,39	CV (%) 4,23	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

TABELA 23. Teores de nutrientes e pH no solo em Neossolo Quartzarênico órtico 100 dias após a aplicação das fontes (Wollastonita, Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica).

Fontes de Silício				
Doses Si	Wollastonita	Hydropotássio	Pó de rocha	
Kg ha ⁻¹	Mg no solo (cmol _c dm ⁻³)			Média
0		0,33		
400	0,33	0,43	0,37	0,38
600	0,27	0,44	0,48	0,40
800	0,34	0,31	0,41	0,35
Média	0,31 B	0,39 AB	0,42 A	
DMScol 0,85	DMSlin 0,85	DMSDun 0,17	CV (%) 22,94	
Kg ha ⁻¹	K no solo (mg dm ⁻³)			Média
0		19,25		
400	12,75	9,25 *	16,75	12,92 b
600	21,00	14,25	18,50	17,92 a
800	12,50	10,25	19,25	14,00 ab
Média	15,42 AB	11,25 B	18,17 A	
DMScol 4,64	DMSlin 4,64	DMSDun 9,34	CV (%) 29,87	
Kg ha ⁻¹	Si no solo (mg dm ⁻³)			Média
0		1,77		
400	2,86 Ab	2,16 Aa	1,67 Ba	2,23
600	3,47 Ab	2,53 ABa	1,93 Ba	2,64
800	6,28 Aa	2,77 Ba	1,68 Ca	3,58
Média	4,20	2,49	1,76	
DMScol 1,05	DMSlin 1,05	DMSDun 1,22	CV (%) 22,10	
Kg ha ⁻¹	Ca no solo (cmol _c dm ⁻³)			Média
0		1,87		
400	2,83 Ab	2,27 Aab	2,23 Aa	2,23
600	3,68 Ab*	3,29 Aa*	2,97 Aa*	3,31
800	4,37 Aa*	3,26 Ba*	2,18 Ca	3,27
Média	3,63	2,94	2,46	
DMScol 0,88	DMSlin 0,88	DMSDun 1,02	CV (%) 17,36	
Kg ha ⁻¹	pH no solo			Média
0		3,96		
400	3,69	4,20	3,72	3,87
600	3,84	3,83	3,54	3,74
800	3,89	3,86	3,80	3,85
Média	3,81	3,96	3,69	
DMScol 0,29	DMSlin 0,29	DMSDun 0,58	CV (%) 7,49	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Quando comparamos em LVd, os teores de Si disponível no solo, observou que a Wollastonita, se mostrou a fonte mais eficiente, capaz de fornecer o nutriente para as plantas de maneira significativa, quando comparado as demais fontes e à controle, independente da dose aplicada. Pode observar ainda que a Wollastonita quando aplicada na dose de 800 kg ha^{-1} proporcionou a maior disponibilidade de silício no solo, apresentando um acréscimo de $7,1 \text{ mg dm}^{-3}$ em relação à controle. Para as demais fontes, observa-se que não há diferença entre fornecimento do nutriente em função da dose aplicada (TABELA 22).

Em relação aos teores de Si disponível no solo RQo, observou que a Wollastonita e o Hydropotássio, se mostraram mais eficientes nas doses 400 kg ha^{-1} e 600 kg ha^{-1} , capaz de fornecer o nutriente para as plantas de maneira significativa. Pode-se dizer ainda que a Wollastonita quando aplicada na dose de 800 kg ha^{-1} proporcionou a maior disponibilidade de silício no solo, apresentando um acréscimo de $7,1 \text{ mg dm}^{-3}$ em relação à controle. Para as demais fontes, observa-se que não há diferença entre fornecimento do nutriente em função da dose aplicada (TABELA 23).

Gomes et al. (2011), realizou um estudo comparativo entre um silicato de cálcio e um agregado siderúrgico como fontes de Si, observaram que este último proporcionou aumento significativo no teor de Si solúvel no solo para ambos os tipos de solo.

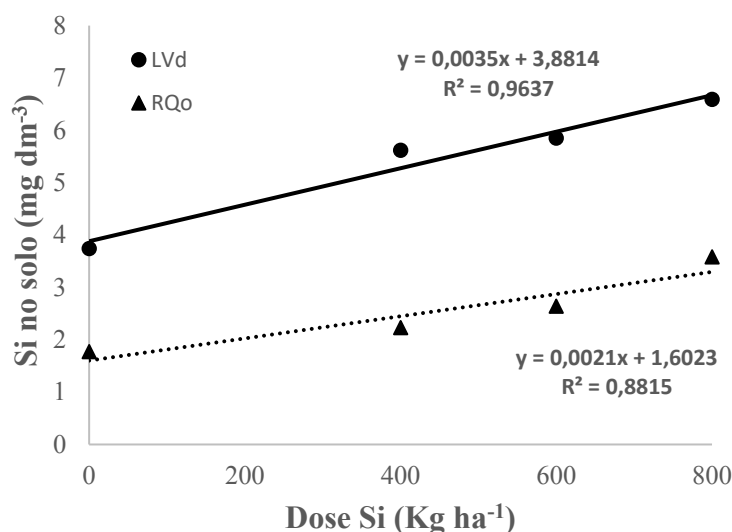


FIGURA 8. Média dos teores de Si no solo, em solos classificados como Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd) em função da aplicação de doses crescentes da Si proveniente das fontes.

Como pode observar na Figura 1, houve um comportamento linear para a média dos produtos, ou seja, quanto maior a dose de Si maior o teor de Si no solo, tanto para o Neossolo Quartzarênico órtico quanto para o Latossolo Vermelho distrófico.

Nota-se no gráfico, acréscimo no teor de Si para o Neossolo Quartzarênico, de 1,6 mg dm⁻³ e de 3,9 mg dm⁻³ para o Latossolo Vermelho. Solos arenosos são de maneira geral pobres em Si disponível para as plantas, uma vez que a forma predominante é o quartzo (LIMA FILHO, 2010), contudo não apresentou maior resposta a adubação silicatada. Segundo Korndörfer et al. (1999), solos com teor de Si inferiores a 20mg dm⁻³ (extraídos com ácido acético 0,5 mol L⁻¹), ou ainda de 6 a 8 mg dm⁻³ extraídos em CaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ em geral indicam a necessidade de adubação com Si e respondem melhor a aplicação do nutriente em comparação aos que tem maior concentração.

Dias et al. (2010), observaram comportamento linear das doses de Si como apresentado na Figura 1, avaliando três fontes de Si em doses crescentes de 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si, observaram aumento nos teores de Si disponível no solo com o aumento da dose.

Mesmo havendo aumento significativo no teor de Si solúvel no solo pelas fontes citadas anteriormente, os teores de Si no solo continuam baixos segundo Korndörfer et

al. (1999). Os mesmos conduziram experimentos com as culturas do arroz e sorgo durante cinco anos e sugeriram os níveis de Si no solo como baixo, menor que 6 mg dm^{-3} , médio entre 6 a 24 mg dm^{-3} e alto acima de 24 mg dm^{-3} .

Para disponibilidade de cálcio em LVd, apesar da interação entre fonte e dose não ter sido significativa, Wollastonita foi a fonte mais eficiente em incrementar os teores do nutriente no solo, apresentando a maior média. Foi a única que apresentou resultados significativos para todas as doses analisadas quando comparada à controle. O resultado pode ser explicado pelo fato da fonte Wollastonita ser um silicato de cálcio, com alta solubilidade (TABELA 7). No solo RQo, a Wollastonita foi superior às demais fontes somente na dose mais alta (800 kg ha^{-1}), sendo o Pó de rocha a pior fonte comparada nesta mesma dosagem, provavelmente devido à baixa solubilidade e concentração do nutriente na rocha natural. Quando comparadas à controle, somente Wollastonita e e Hydropotássio conseguiram apresentar resultados significativos para incremento de Ca no solo, nas doses 600 kg ha^{-1} e 800 kg ha^{-1} . Wollastonita na dose mais alta apresentou o melhor resultado para disponibilidade de Ca, incrementando $2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio em relação à controle (TABELA 23).

Com relação à elevação no valor de pH, em LVd, Wollastonita na dose 800 kg ha^{-1} apresentou o melhor resultado, incrementando em 0,6 o valor de pH em relação à controle. Ainda, pode-se afirmar que, Wollastonita é a melhor fonte para elevação do pH do solo, apresentando média superior às demais fontes (TABELA 22). Para o solo RQo, as fontes não se diferiram em relação às fontes e doses aplicadas (TABELA 23).

4.3 Análise de Nutrientes Acumulados

Quanto aos teores de magnésio (Mg) acumulados na planta, observou-se para o LVd que quando aplicado o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, independente da dose, esta fonte apresentou menor eficiência no acúmulo do nutriente, quando comparados ao controle. Observou também, que o Hydropotássio, quando aplicado nas doses de 400 kg ha^{-1} e 800 kg ha^{-1} , mostrou-se inferior ao controle no acúmulo de magnésio na planta. Quando comparada à média das fontes, Wollastonita foi superior às demais para

suprimento e acúmulo do nutriente na planta (TABELA 24). Para o Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), não houve diferença no acúmulo de Mg para as fontes testadas, porém quando aplicadas as doses de 600 kg ha⁻¹ e de 800 kg ha⁻¹, estas apresentaram as melhores respostas para acúmulo de nutriente, independente da fonte aplicada (TABELA 25).

Com relação ao acúmulo de potássio (K) na planta em LVd, observa-se que quando aplicada as fontes Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, independente da dose, estas apresentaram valores inferiores à controle para acúmulo do nutriente no arroz. Observamos também, que quando aplicada Wollastonita, esta mostrou-se superior as demais fontes, suprimindo a necessidade da cultura e favorecendo ao acúmulo de nutriente na mesma. Quando analisamos as doses, independente das fontes, pode-se afirmar que a dose de 600 kg ha⁻¹ proporcionou as maiores médias para acúmulo de K na planta (TABELA 24). Para o RQo, podemos observar na tabela 10, que ocorreu significância para a interação entre as doses e fontes estudadas, sendo que na dose de 400 kg ha⁻¹ Wollastonita e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica apresentaram os melhores resultados para acúmulo de K nas plantas. Quando avaliada na dose de 400 kg ha⁻¹, a fonte Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica foi a fonte que se mostrou superior as demais, comparando a capacidade de acúmulo do nutriente (750 mg vaso⁻¹ de potássio). Pode observar, que quando utilizado o Hydropotássio, este apresenta um crescimento linear para acúmulo quando aumentamos a dose, contudo estes fora, os piores resultados para acúmulo de K em RQo, principalmente na dose de 400 kg ha⁻¹ quando a planta conseguiu acumular somente 185 mg vaso⁻¹ de potássio. Pode-se afirmar que, quando aumentada as doses, o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica apresentou os melhores resultados para acúmulo de potássio nas plantas, apresentando resposta contrária ao que foi visto no LVd (TABELA 25).

TABELA 24. Teores de nutrientes acumulados por vaso em Latossolo Vermelho distrófico 100 dias após a aplicação das fontes (Wollastonita, Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica).

Fontes de Si				
Doses Si	Wollastonita	Hydropotássio	Pó de rocha	
Kg ha ⁻¹	Mg na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		404		
400	345	206 *	202 *	251
600	333	249	171 *	251
800	372	137 *	159 *	222
Média	350 A	197 B	177 B	
DMScol 82,3	DMSlin 82,3	DMSDun 165	CV (%) 31,6	
Kg ha ⁻¹	K na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		1060		
400	955	512 *	582 *	683 ab
600	1087	671 *	617 *	792 a
800	966	325 *	624 *	638 b
Média	1003 A	503 B	607 B	
DMScol 133	DMSlin 133	DMSDun 268	CV (%) 17,8	
Kg ha ⁻¹	Si na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		265		
400	682 Ab*	307 Bb	302 Ba	430
600	716 Ab*	430 Bab	305 Ba	484
800	940 Aa*	490 Ba*	307 Ca	579
Média	779	409	305	
DMScol 144	DMSlin 144	DMSDun 168	CV (%) 17,42	
Kg ha ⁻¹	Ca na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		532		
400	527	336	202 *	355
600	561	384	171 *	372
800	672	137 *	166 *	325
Média	587 A	286 B	180 B	
DMScol 131	DMSlin 131	DMSDun 264	CV (%) 35,2	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Verificou-se em relação aos valores de Si acumulado na planta, para o LVd, que Wollastonita apresentou os melhores resultados para acúmulo, se diferenciando do controle, independente da dose aplicada. O mesmo foi observado com a aplicação de Hydropotássio na dose de 800 kg ha⁻¹, o qual se diferenciou do controle. Quando a

Wollastonita, foi aplicada na dose de 800 kg ha⁻¹, o acúmulo de Si pelas plantas aumentou 675 mg vaso⁻¹ em relação à controle, mostrando a eficiência da fonte em solubilidade e fornecimento do micronutriente para acúmulo nas plantas (TABELA 24).

TABELA 25. Teores de nutrientes acumulados por vaso em Neossolo Quartzarênico órtico 100 dias após a aplicação das fontes (Wollastonita, Hydropotássio e Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica).

Fontes de Si				
Doses Si	Wollastonita	Hydropotássio	Pó de rocha	
Kg ha ⁻¹	Mg na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		141		
400	130	88	148	122 b
600	177	158	196	177 a
800	152	187	157	166 a
Média	153	144	167	
DMScol 34,7	DMSlin 34,7	DMSDun 69,9	CV (%) 22,40	
Kg ha ⁻¹	K na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		317		
400	521 Aab*	185 Bb*	554 Ab*	420
600	616 Ba*	280 Cb	750 Aa*	549
800	459 Bb*	422 Ba	660 Aab*	513
Média	532	296	654	
DMScol 110	DMSlin 110	DMSDun 128	CV (%) 13,22	
Kg ha ⁻¹	Si na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		233		
400	483 Ac*	281 Bb	219 Ba	328
600	675 Ab*	380 Bab*	219 Ca	425
800	842 Aa*	398 Ba*	177 Ca	472
Média	667	353	205	
DMScol 0,17	DMSlin 0,17	DMSDun 0,35	CV (%) 20,51	
Kg ha ⁻¹	Ca na folha (mg vaso ⁻¹)			Média
0		170		
400	207	111	148	155 b
600	303 *	158	196	219 a
800	289 *	187	180	219 a
Média	267 A	152 B	175 B	
DMScol 99,9	DMSlin 99,9	DMSDun 116,1	CV (%) 14,61	

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Observa-se na Tabela 9, que quando aplicado Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, não houve aumento no acúmulo do Si pelas plantas quando se aumentou a dose do produto, não havendo diferença em relação ao controle. Isto possivelmente ocorreu devido à baixa solubilidade do produto em Latossolo Vermelho. Em relação ao RQo, a Wollastonita apresentou novamente os melhores resultados para acúmulo, se diferenciando do controle, independente da dose aplicada (TABELA 25). O mesmo foi observado com a aplicação de Hydropotássio nas doses de 600 kg ha⁻¹ e 800 kg ha⁻¹, as quais se diferiram do controle.

Quando Wollastonita, foi aplicada na dose de 800 kg ha⁻¹, o acúmulo de Si pelas plantas aumentou 609 mg vaso⁻¹ em relação à controle, mostrando a eficiência da fonte em solubilidade e fornecimento do micronutriente para acúmulo nas plantas (TABELA 25). Observa na mesma tabela, que novamente quando aplicado o Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, não houve aumento no acúmulo do Si pelas plantas quando se aumentou a dose do produto, não havendo diferença em relação ao controle.

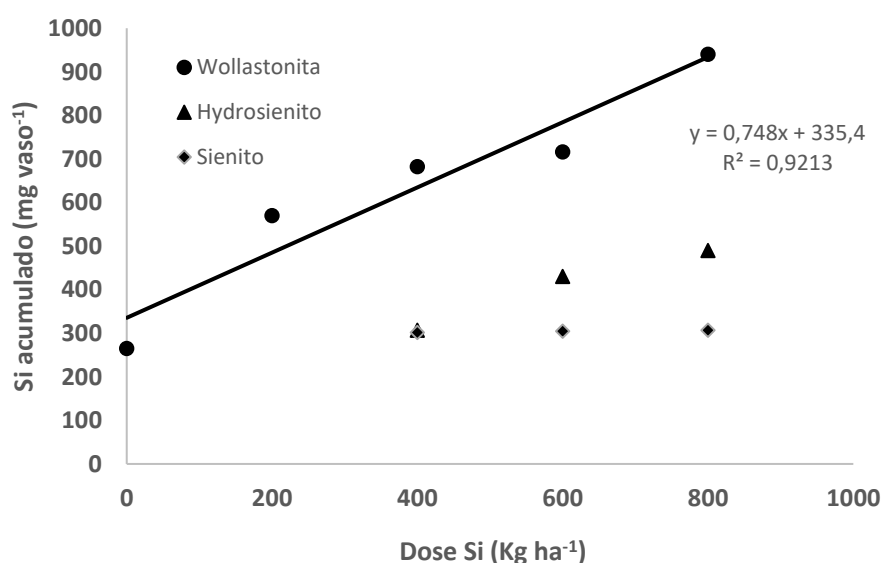


FIGURA 9. Média dos valores de Si acumulado na parte aérea do arroz colhido aos 100 DAS, em um Latossolo Vermelho distrófico em função da aplicação de doses crescentes de Si proveniente das fontes Hydropotássio, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e Wollastonita.

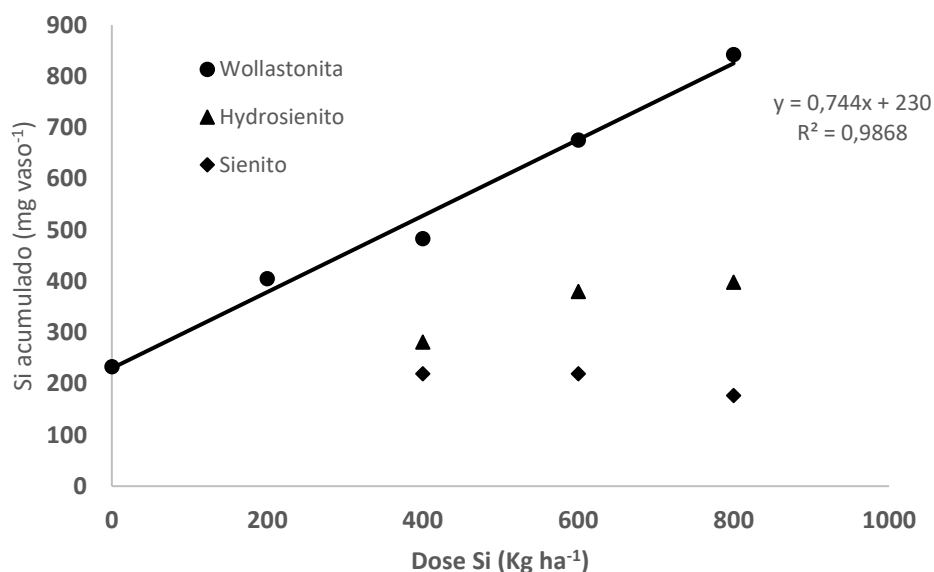


FIGURA 10. Média dos valores de Si acumulado na parte aérea do arroz colhido aos 100 DAS, em Neossolo Quartzarênico órtico em função da aplicação de doses crescentes de Si proveniente das fontes Hydropotássio, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e Wollastonita.

Em relação as doses de Si, observou-se para o LVd, que Wollastonita apresentou comportamento linear, conforme aumento da dose de Si, ocorreu acréscimo nos valores de Si acumulado no arroz (FIGURA 9). A mesma resposta linear foi observada por Dias et al. (2010) na avaliação de três fontes e doses crescentes de Si (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si) para a cultura do arroz. Em RQo, observa o mesmo comportamento, onde doses crescentes da aplicação de Wollastonita, proporcionaram aumento no acúmulo de Si pelas plantas (FIGURA 10).

4. CONCLUSÃO

Em LVd, Hydropotássio apresentou maior eficiência em fornecer Si para as plantas, contudo apresentou menor eficiência para produção de massa seca.

Em RQo, Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica foi a fonte que apresentou maior eficiência para fornecer potássio para as plantas, porém não liberou silício para as plantas.

Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica em solo RQo, foi a fonte mais eficiente para acúmulo de potássio pelas plantas e em LVd foi a que apresentou menor eficiência juntamente com Hydropotássio.

5. CONCLUSÃO GERAL DO TRABALHO

A aplicação de Hydropotássio, proporcionou fornecimento de silício e potássio nos dois testes, incubação e biológico.

Pó de rocha Sienítica Ultrapotássica, não proporcionou incremento de silício no solo e fornecimento para as plantas, contudo apresentou-se como a melhor fonte para fornecimento de potássio.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Novos estudos devem ser realizados, com solos e culturas diferentes. Sugiro que trabalhem com culturas acumuladoras de silício (sorgo, milho), para observar a eficiência do produto em fornecer silício para outras culturas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, F. **ASSISTAT**: Assistência Estatística. Disponível em: <<http://assistat.com/indexp.html>>. Acesso em: 30 out. 2016.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 89, p. 1-8, 2000. (Encarte técnico).

BERNI, F. R.; PRABHU, S. A. **Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas de arroz**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 38, n. 2, p. 195-201, fev. 2003.

BRASIL. Decreto nº 2954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas** (Texto Integral) – DEC 004954, Brasília, v.4, p. 143-151, 1969.

CARDOSO, K. **Aplicação de silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens***. 2003. 48 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

CARVALHO-PUTATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, nov, 2003.

CHAGAS, R. C. S. Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho. 2004.79f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Ministério da Agricultura e Abastecimento**. Brasília, 28 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 28 dez. 2014.

DATNOFF, L.E., RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v.75, p.729-732, 1991.

DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. Amer. J. Bot., v. 70, p.1079-1084. 1983

DIAS, C. B.; RAMOS, L. A.; SOUZA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Influência de Fontes e Doses de Silicatos na Cultura do Arroz do Ecossistema de Várzea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. 5, 2010, Viçosa.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro- RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1999. 212 p.

EPSTEIN, E. **The anomaly of silicon in plant biology**. Proc. Nat. Acad. Sci. Unit. St. Am., United States, Washington. v. 91, p. 11-17, 1994.

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

FERNANDES, M. D.; COSTA, L. R. T.; SANCHES, L. V. C.; SILVA, D. P.; BRAUER, R. L.; BULL, L. T. Teor e acúmulo de silício em duas cultivares de trigo em resposta a aplicação de silicato de cálcio. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura. Editor Fabrício de Ávila Rodrigues. **Anais...**, Viçosa: UFV DFP, 2010, 385p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, 06: 36-41, 2008.

GIRACCA, E. M. N. **Grupo do Feldspato**, 2016. Disponível em:< https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/potassio_361446.html >. Acesso em: 20 de dez. 2016.

GOMES, C. F., et al. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, Goiânia, v. 41, n.4, p. 531-538, 2011.

GUIMARÃES, C. M.; FAGEIRA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 12b (Encarte técnico. Informações Agronômicas, nº99).

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. **Avaliação de fontes de silício para arroz**. In: I CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, Pelotas, p. 313-6, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do Si na produção da cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 6-9, 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, 2004, 34p. (Boletim técnico, 2).

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 23p. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G.H.; V.A. ARANTES; G.F. CORRÊA; & G.H. SNYDER. Efeito do silicato de cálcio no teor de Si no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Rev. Bras. Ciê. Solo**, Viçosa/MG. v.23, n.3, p. 623-629, 1999.

LIMA FILHO, O. F. Aspectos gerais sobre o silício em solos, plantas e animais. **Silício na Agricultura**. 1ed.Viçosa: UFV, 2010, v. 1, p. 47-60.

LIMA FILHO, O. F. **O silício na produtividade e sanidade agrícola**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/MAPA, 2005. Folheto informativo. 58

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 7b (Encarte técnico. Informações Agronômicas, nº87).

MA, J. F. & TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. ELSEVIER, 2002. 274 p.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: **Silicon in Agriculture**. DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. Ed. New York: Elsevier science. 2001. p.17-39.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 11, p. 392-397, 2006b.

MA, J.F.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; TAMAI, K.; KONISHI, S.; FUJIWARA, T.; KATSUHARA, M.; YANO, M. An efflux transporter of silicon in rice. **Nature**, London, v. 448, p. 209-212, 2007.

MACHADO, F. B.; Potássio, 2016. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/tectossilicatos/gfeldspato.html>>. Acesso em: 16, dez. 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 887p.1995.

Oliveira LA & Castro NM (2002) Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e *Davilla elliptica* St. Hill. Journal of Horticultural Science, 1:1-16.

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e *Davilla elliptica* St. Hill. **Journal of Horticultural Science**, n. 1, p. 1-16, 2002.

OLIVEIRA, L.A. DE. **Silício em plantas de arroz e feijão: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio**. 2009. 157f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEREIRA, H.S.; KONDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba v.16, n.5, p.522-528, 2004.

QUEIROZ, A.A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. 2003. 39f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2003.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.

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, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.

RAMOS, L.A. **Reatividade de fontes de Si e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. 2005. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

RODRIGUES, F.A. **Fertilização silicatada na severidade da queima das bainhas (*Rhizoctonia solani* Kühn) do arroz**. Viçosa, 2000. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, 2000.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, Newark, v.58, p. 151-199, 1997.

SILVA, EDSON SANTOS DA. **Efeito das concentrações de nitrogênio e silício em plantas de milho e de trigo sob cultivo hidropônico**. 2013. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

SILVA, M. F. Avaliação de fontes de silício através de testes biológicos e de incubação, 2002. 42 f. Monografia (graduação em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2002.

VIDAL, A.A. **Fontes de silício para a cultura do arroz**. 2003. 34f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

WRANG, S.S.; KIM, K. & W.M. HESS. 1998. Variation of silica bodies in leaf epidermal long cells within and among seventeen species of *Oryza* (Poaceae).