

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

**KAMAFUGITO PROVENIENTE DA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA – MG
COMO REMINERALIZADOR DE SOLO**

BÁRBARA CAMPOS FERREIRA

BÁRBARA CAMPOS FERREIRA

**KAMAFUGITO PROVENIENTE DA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA – MG
COMO REMINERALIZADOR DE SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia/Solos, para obtenção do título de “Doutora”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Co-orientador

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2021

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

F383 Ferreira, Bárbara Campos, 1989-
2021 Kamafugito proveniente da região do Alto Paranaíba-MG
como remineralizador de solo [recurso eletrônico] /
Bárbara Campos Ferreira. - 2021.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Coorientador: Hamilton Seron Pereira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.288>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953-,
(Orient.). II. Pereira, Hamilton Seron, 1968-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 09/2021, PPGAGRO				
Data:	Trinta e um de maio de dois mil e vinte e um.	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	18:00
Matrícula do Discente:	11713AGR003				
Nome do Discente:	Bárbara Campos Ferreira				
Título do Trabalho:	Kamafugito proveniente da região do Alto Paranaíba - MG como remineralizador de solo.				
Área de concentração:	Fitotecnia				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Hamilton Seron Pereira - UFU; Beno Wendling - UFU; Lucélia Alves Ramos - Agrivalle Brasil; Gustavo Alves Santos - KP Consultoria; Gaspar Henrique Korndorfer - UFU, orientador da candidata.

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

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

Aprovado(a).

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

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Alves Santos, Usuário Externo**, em 02/06/2021, às 09:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gaspar Henrique Korndörfer, Usuário Externo**, em 03/06/2021, às 09:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/06/2021, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucélia Alves Ramos, Usuário Externo**, em 08/06/2021, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2723743** e o código CRC **BOB1888F**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde e força para completar mais essa etapa da minha vida. Aos meus pais, Izaias e Renata, 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 às minhas irmãs, Manuela e Isadora.

A todos do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER) e, também, aos membros do Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura (GPSi), pela ajuda e companheirismo, em especial ao Gustavo, Camila e Luiz Henrique que me auxiliaram sempre que necessário.

Aos técnicos do LAFER e do Laboratório de Análises de Solo (LABAS) por toda a ajuda e suporte.

A professora Dr. Brenda Tubana, pela orientação e ensinamentos durante todo o Doutorado Sanduíche na Louisiana State University (LSU) nos Estados Unidos e a todos os colegas do grupo 'Soil Fertility Team', pela amizade e aprendizado durante um ano e três meses de convívio e momentos inesquecíveis compartilhados.

Por fim, aos professores Gaspar e Hamilton, pelos ensinamentos, confiança e orientação.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 2: Reatividade e disponibilização de nutrientes provenientes do kamafugito.....	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
3. INTRODUÇÃO.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1. Caracterização química e física dos solos e do kamafugito.....	28
4.2. Tratamentos e delineamento experimental	29
4.3. Variáveis analisadas.....	33
4.4. Análises Estatísticas.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Potássio no Solo.....	33
5.2. Fósforo no Solo.....	34
5.3. Cálcio no Solo.....	37
5.4. Magnésio no solo	39
5.5. pH do solo.....	41
6. CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS	44
CAPÍTULO 3 - Movimentação do K no perfil do solo quando proveniente do kamafugito.....	46
RESUMO	46
ABSTRACT	48
7. INTRODUÇÃO.....	49
8. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
8.1. Caracterização das fontes de potássio	50
8.2. Condução dos experimentos.....	51
8.3. Avaliações do experimento	53
8.4. Análises estatísticas.....	54

9.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
9.1.	Solo Arenoso (RQo).....	54
9.2.	Solo Argiloso (LVd).....	56
10.	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60
	Capítulo 4: Kamafugito como fonte de nutrientes para as culturas do arroz e braquiária	62
	RESUMO	62
	ABSTRACT	64
11.	INTRODUÇÃO.....	65
12.	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
12.1.	Instalação dos experimentos.....	67
12.2.	Avaliações	71
13.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
13.1.	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) – 1º cultivo.....	73
13.2.	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) – 2º cultivo	101
13.4.	Braquiária (<i>Urochloa brizantha</i>) - 1º e 2º cortes	123
14.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164
15.	CONCLUSÕES	164
	REFERÊNCIAS	165

RESUMO GERAL

FERREIRA, BÁRBARA. **Kamafugito proveniente da região do Alto Paranaíba – MG como remineralizador de solo.** 2021. 170p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Com o objetivo de avaliar o uso do kamafugito como remineralizador de solo, foram montados três testes: Teste de incubação, de lixiviação e biológico. Todos os testes foram conduzidos em casa de vegetação, utilizando amostras de dois tipos de solos, Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e o Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e duas granulometrias do kamafugito, filler e pó, em quatro doses (1250, 2500, 5000 e 7500 mg dm⁻³) em quatro repetições. No primeiro experimento, o objetivo foi avaliar a capacidade de liberação de potássio, fósforo, cálcio e magnésio, provenientes do kamafugito aplicado in natura e comparar com fontes solúveis (Superfosfato triplo – SFT; cloreto de potássio – KCl e carbonato de cálcio – CaCO₃). O kamafugito se mostrou eficaz em aumentar os teores de P, K, Ca e Mg no solo, principalmente para as maiores doses aplicadas, e, apesar de menor eficiência em relação às fontes solúveis, a forma filler se mostrou mais eficiente que a forma pó. O segundo experimento teve como objetivo avaliar as perdas por lixiviação do potássio proveniente do cloreto de potássio granulado, do kamafugito filler e pó e do nitrato de potássio em LVd e RQo. Os tratamentos foram, distribuídos em colunas de lixiviação, com 20 cm de diâmetro e 70 cm de altura. O kamafugito se mostrou menos sujeito a perdas por lixiviação quando comparado com o cloreto de potássio e nitrato de potássio. No teste biológico, instalado em vasos, foram realizados dois cultivos consecutivos, o primeiro com a cultura do arroz e o segundo com brachiaria, e teve como objetivo avaliar a eficiência agrônômica (IEA) e efeito residual do kamafugito filler e pó nas doses de 1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³ de solo, para fornecimento de P, K, Ca e Mg e, comparado com tratamentos com SFT, KCl e a testemunha, sem aplicação de P e K. Os valores de IEA do kamafugito foram maiores no segundo cultivo, demonstrando bom efeito residual em comparação com as fontes solúveis. O remineralizador foi eficiente em incrementar os teores dos nutrientes no solo e acumulado nas plantas, principalmente para o P. As formas filler e pó demonstraram efeito semelhante na liberação dos nutrientes para o solo e para as plantas. O kamafugito pode ser considerado uma fonte potencial para o fornecimento de P, K, Ca e Mg para a agricultura, por se tratar de uma fonte natural brasileira.

Palavras-chave: eficiência agrônômica, efeito residual, fertilidade do solo, pó de rocha.

¹Orientador: Gaspar Henrique Korndöfer (UFU)

GENERAL ABSTRACT

FERREIRA, BÁRBARA. **Kamafugite from the Alto Paranaíba – MG province as a soil remineralizer**. 2021. 170p. Thesis (Doctorate's degree in Agronomy) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia¹.

In order to evaluate the use of kamafugite as a soil remineralizer, three experiments were carried out: Incubation, leaching and biological tests. All tests were conducted in a greenhouse located in the Uberlândia Federal University, using samples from two types of soil, Dystrophic Red Latosol (LVd) and the typical Orthic Quartzarenic Neossol (RQo) and two kamafugite forms, filler and powder granulometries. In the first experiment, the objective was to evaluate the ability to release potassium, phosphorus, calcium and magnesium from the kamafugite (filler and powder) applied in natura and compare with conventional soluble sources (Triple superphosphate - TSP; potassium chloride - KCl and calcium carbonate - CaCO₃). Two kamafugite granulometries (filler and powder) and four doses of the product (1250, 2500, 5000 and 7500 mg dm⁻³) were used. After 60 days, the nutrient content (P, K, Ca and Mg) in both types of soil was determined, as well as the pH of the soil. The kamafugite proved to be effective in increasing the content of nutrients in the soil, mainly for the highest applied doses, however, still below the effectiveness of the soluble sources; the filler form is more efficient than the powder form, in general. The second experiment aimed to evaluate the losses by leaching of potassium from granulated potassium chloride, kamafugite filler and powder and potassium nitrate powder in samples of LVd and RQo. The treatments were distributed in leaching columns, 20 cm in diameter and 70 cm high. Kamafugite was less prone to leaching losses when compared to potassium chloride and potassium nitrate. In the biological tests, installed in pots, two consecutive cultivations were carried out, the first with rice and the second with brachiaria, and aimed to evaluate the agronomic efficiency (IEA) and residual effect of kamafugite filler and powder at doses of 1667, 3334, 6668 and 13336 mg dm⁻³ of soil, to supply P, K, Ca and Mg and, compared with treatments with TSP, KCl and the control, without application of P and K. The IEA values of kamafugite were higher in the second crop, showing good residual effect compared to soluble sources. The remineralizer was efficient in increasing the levels of nutrients in the soil and accumulated in the plants, mainly for P. The filler and powder forms showed a similar effect on the release of nutrients for the soil and for the plants. Kamafugite can be considered a potential source for the supply of P, K, Ca and Mg for agriculture, as it is a natural Brazilian source.

Keywords: agronomic efficiency, residual effect, soil fertility, rock dust.

¹Advisor: Gaspar Henrique Korndöfer (UFU)

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil se encontra entre os maiores produtores de alimentos do planeta. Em 2020, o PIB (Produto Interno Bruto) do agronegócio brasileiro alcançou participação de 26,6%, contra 20,5% em 2019 (BRASIL, 2020). As culturas responsáveis por maior parte do PIB são a soja, milho, cana-de-açúcar, café e algodão. O setor agrícola faz uso da integração de diferentes tecnologias para o aumento da produtividade, como a irrigação, o melhoramento genético de sementes, a utilização de máquinas e implementos de alto desempenho, a agricultura de precisão e os insumos químicos e biológicos (LOPES; GUILHERME, 2000).

Os solos brasileiros apresentam, em geral, baixa disponibilidade de macronutrientes como fósforo (P) e potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), devido principalmente às condições climáticas predominantes no país que favoreceram o intemperismo. Ademais, tais solos apresentam baixos valores de pH, grandes quantidades de óxidos de ferro e alumínio, bem como possuem minerais do grupo da caulinita como principais constituintes da fração com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) (VOLKSWEISS; RAIJ, 1977).

Dentre as tecnologias de uso mais difundido na agricultura brasileira estão os fertilizantes minerais, os quais proporcionam um aumento da produtividade frente à limitação da área agricultável (OGINO et al., 2020). Para garantir altas produtividades das culturas em solos, em sua maioria, pobres em nutrientes, grandes quantidades de fertilizantes são necessárias.

A agricultura brasileira é responsável atualmente por 7% do consumo global de fertilizantes, estando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Além disso, o país se encontra na quarta posição no consumo de nitrogênio (N) e na terceira de fósforo (P), além de ocupar o segundo posto no consumo de potássio (K) (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA, 2019). O consumo em 2020 foi de 37 milhões de toneladas e desse total, 32,8 milhões de toneladas foram importados (ANDA, 2020).

Ao longo das últimas décadas, porém, a produção interna de fertilizantes minerais tem sido insuficiente para abastecer a forte demanda dos produtores agrícolas, fazendo

com que o país importe cerca de 70% do N , 55% do P_2O_5 e mais de 90% do K_2O do total consumido (ANDA, 2020). Além disso, a matéria-prima para a elaboração dos fertilizantes pode se tornar escassa, com extração viável em poucas localidades no mundo, e com uma alta demanda de energia para sua produção. Tal situação deixa a produção agrícola brasileira dependente da importação de fertilizantes minerais e exposta a possíveis choques advindos do mercado externo.

Dentre os nutrientes, o P é um dos maiores limitantes da produção agrícola de solos tropicais, devido principalmente à dinâmica do mesmo nesses solos. Em condições de acidez, os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se, preferencialmente, com cargas positivas, sendo assim capazes de reter íons fosfatos em sua superfície. Portanto, diferentemente de outros nutrientes, quantidades de fertilizantes fosfatados maiores do que as exigidas pelas plantas são utilizadas, visando primeiramente saturar os componentes responsáveis pela fixação e indisponibilização do nutriente (ANGHINONI; BARBER, 1980).

Neste contexto, grandes quantidades de fertilizantes fosfatados são utilizadas em solos brasileiros. Fertilizantes fosfatados solúveis têm sido utilizados preferencialmente para produção das culturas agrícolas (LANA et al., 2004), entretanto, devido às grandes quantidades utilizadas e aos maiores custos de produção, pesquisadores têm estudado fontes alternativas deste nutriente.

Assim como observado para o P, o K no solo também deve ser suprido com a utilização de fertilizantes. Consequentemente, torna-se necessária a busca por fontes alternativas aos fertilizantes fosfatados e potássicos tradicionais, visando reduzir a dependência externa e favorecer a disponibilidade de fontes nacionais.

Dentro desse contexto, é recomendada a busca e pesquisa de fontes alternativas de nutrientes para a agricultura brasileira, as quais poderão resultar em níveis ótimos de produtividade ou em maior eficiência que as fontes habitualmente usadas na agricultura. Uma das alternativas com potencial de trazer respostas a essas necessidades é a utilização de remineralizadores, que são insumos formados por rochas moídas para uso agrícola como fontes alternativas de nutrientes. Os kamafugitos constituem um grupo de rochas raras, são máficas a ultramáficas, de afinidade ultrapotássica. Além da presença de K_2O , detectou-se também teores significativos de P_2O_5 , CaO e MgO nesse tipo de rocha. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a reatividade no solo e a eficiência agronômica do kamafugito como remineralizador de solo em duas granulometrias (filler e pó) bem como a movimentação do K no perfil do solo quando proveniente do kamafugito.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Importância do fósforo para as plantas

O fósforo é um nutriente essencial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alongamento das células e na expressão gênica da informação genética (GRANT et al., 2001). Trata-se de componente da molécula de ATP (adenosina trifosfato), a qual é utilizada em todas as reações endergônicas, ou seja, que necessitam de energia.

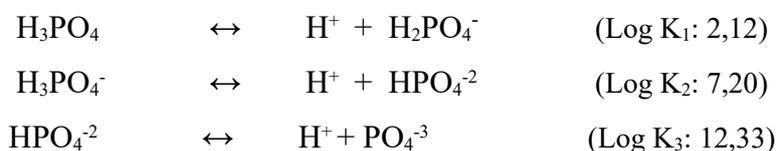
O suprimento adequado de P para as plantas promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos demais nutrientes. Ressalta-se ainda o seu papel como componente de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos e substratos metabólicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007), sendo, portanto imprescindível ao crescimento e a reprodução das plantas.

As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento da planta, sendo a recuperação dificultada mesmo quando o suprimento de P a níveis adequados é fornecido posteriormente. A concentração de P nas plantas varia entre 0,1 e 0,5% e essas absorvem tanto H_2PO_4^- como $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ (ortofosfato), dependendo do pH do solo. As plantas também absorvem compostos orgânicos solúveis de baixo peso molecular (por exemplo, ácido nucléico e fitina), que são produtos da decomposição da matéria orgânica do solo (HAVLIN; BEATON; TISDALE, 2005).

2.1.1. Fósforo no solo

O P total dos solos é composto de diferentes formas, orgânicas e inorgânicas, que apresentam diferentes graus de labilidade. Segundo Barber (1995), o P no solo pode ser dividido em quatro categorias: P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido nas superfícies dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P e P componente da matéria orgânica.

A forma de P na solução do solo, que é a forma mais facilmente disponível para as plantas, depende diretamente da acidez do mesmo, conforme as reações de dissociação do H_3PO_4 (LINDSAY, 1979; RAIJ, 1991):



As concentrações na solução do solo são usualmente baixas, variando entre 0,01 e 1 $mg\ dm^{-3}$ de P na forma $H_2PO_4^{-1}$ que é a que predomina em pH abaixo de 6,0. Em geral, esses íons são considerados mais disponíveis para os vegetais (MALAVOLTA, 1985).

A grande maioria dos solos tropicais contém baixos teores de P total e muito baixo teor de fósforo disponível às plantas. A deficiência deste nutriente nesses solos é intensa devido, principalmente, aos baixos valores de pH e à presença de argilas sesquioxídicas que aumentam a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados com ferro e alumínio (CARDOSO; KUYPER, 2006; SANCHEZ; SALINAS, 1981). Sanches e Uehara (1980) afirmam que a mineralogia da fração argila, o conteúdo de argila, o conteúdo de colóides amorfos, o conteúdo de alumínio trocável, o conteúdo de matéria orgânica e o potencial de oxirredução do solo são os principais fatores que afetam a fixação de P.

O suprimento de P até as raízes no solo ocorre principalmente pelo mecanismo da difusão, sendo que a absorção do nutriente pelas plantas ocasiona uma zona de depleção em volta da raiz e os íons se difundem em decorrência de gradiente de concentração até a superfície radicular (BARBER, 1995). Assim, o P da solução vai sendo exaurido pela absorção e, conseqüentemente, o estoque de fósforo lábil irá recompor parcialmente o P da solução, estabelecendo um novo equilíbrio para o sistema solo.

2.1.2. Fontes de fósforo

O consumo mundial anual de P é de aproximadamente 40 milhões de toneladas e Steen (1998) afirma que esta demanda é aumentada em 1,5% ao ano. Dessa forma, de acordo com estimativas da Associação Européia de Produção de Fertilizantes (2000), as reservas mundiais de fósforo podem ser esgotadas no período de 100 a 250 anos. O Brasil, em 2008, possui cerca de 4,769 milhões de toneladas (Mt). Desse

montante, cerca de 2.510 Mt representam as reservas medidas, 1.107 Mt as indicadas, com 231 Mt e 106 Mt, respectivamente, em termos de P_2O_5 contido. Desse modo, as reservas brasileiras de fosfato somam 337 Mt de P_2O_5 contido (medida + indicada) o que representa cerca de 0,72% das reservas mundiais (SOUZA; FONSECA, 2008).

Em termos mundiais, mais de 99% dos fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de reservas de rochas fosfáticas e apenas uma quantidade pequena é fornecida na forma de escórias básicas, um subproduto da indústria do aço (LOPES, 2003). Os depósitos de rochas fosfáticas de origens sedimentares e ígneas são os mais importantes do ponto de vista econômico. Em geral, os minérios de fosfatos originados de sedimentos marinhos estão localizados nos Estados Unidos, sudeste do México, Marrocos e Noroeste do Saara e Oriente Médio, enquanto os minérios de fosfatos originários de depósitos ígneos estão presentes na África do Sul, Rússia, Finlândia e Brasil, entre outros (SOUZA; FONSECA, 2009).

A necessidade de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, os elevados custos desta prática e o fato dos jazimentos fosfáticos dos quais são produzidos estes fertilizantes se constituírem em recurso natural relativamente escasso no Brasil levam a busca de uma maior eficiência agrônômica do seu uso (GOEDERT, 1987). Assim, Novais e Smyth (1999) afirmam que os fertilizantes de menor solubilidade são alternativas viáveis para o maior aproveitamento da adubação fosfatada, pois, ao disponibilizarem mais lentamente o P, poderiam minimizar os processos de fixação e proporcionar maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas ao longo do tempo (NOVAIS; SMYTH, 1999). Neste contexto, a baixa eficiência das adubações fosfatadas evidencia a necessidade de novos métodos de adubação no que diz respeito a fontes, tornando-se necessária a busca por fontes alternativas de P (LANA et al., 2004).

2.2. Importância do potássio para as plantas

O potássio (K) é o cátion mais abundante nos tecidos das plantas e possui muitas funções fisiológicas, como a alongação celular e a resistência estomática, bem como está relacionado à taxa fotossintética (CAKMAK, 2005). Além disso, a produção de espécies reativas de oxigênio nos cloroplastos é intensificada quando há baixo suprimento de K, resultando no desenvolvimento de clorose e necrose das folhas em plantas com deficiência deste nutriente. Meurer (2006) também afirmam que um adequado

suprimento de K resulta em incrementos positivos no crescimento de raízes e na nodulação das leguminosas, bem como plantas mais tolerantes às condições climáticas e resistentes a pragas e ao acamamento.

Segundo Yamada (1994) e Raij (1991), as principais funções do K na planta estão relacionadas à influência no transporte de elétrons durante a fotossíntese, resultando em uma melhor capacidade energética da planta e, conseqüentemente, maior assimilação de carbono; à maior síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos; à translocação de produtos fotossintetizados nas folhas; ao uso mais eficiente da água devido ao melhor funcionamento dos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos e ao aumento da resistência ao ataque de pragas e incidência de doenças. O K possui alta redistribuição nos tecidos das plantas, portanto, os sintomas de deficiência surgem nas folhas mais velhas (MALAVOLTA et al., 1997). No estágio inicial da deficiência, aparecem manchas cloróticas, nos espaços entre as nervuras e espalhadas irregularmente por toda a superfície foliar. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (DELL et al., 1995; KAUL et al., 1968, 1970; ROCHA FILHO et al., 1978; WILL, 1961).

2.2.1. Potássio no solo

O suprimento de K do solo para as plantas varia em função das formas em que este nutriente se encontra, da quantidade e do grau de disponibilidade de cada forma, bem como das características físicas (textura e retenção de água) que afetam seu movimento da solução do solo até a raiz. O grau de intemperismo do solo, evidenciado pelas suas características mineralógicas (tipo de argila e presença de minerais potássicos primários), possibilita avaliar a reserva total e o grau de disponibilidade de K em longo prazo (MIELNICZUK, 1980).

Segundo Novais et al., (2007) pode-se considerar que o K no solo se encontra nas seguintes formas:

- ✓ K não trocável: a qual pode ser dividida em K estrutural ou K fixado.
 - K estrutural: K que faz parte ou que está retido na estrutura dos minerais primários e/ou secundários,

- K fixado: Presente nas camadas dos argilominerais expansivos ou minerais 2:1, como vermiculita, esmectita e glauconita, neutralizando as cargas negativas nas intercamadas que os formam;
- ✓ K precipitado: K combinado com outras substâncias químicas, sendo uma forma pouco expressiva;
- ✓ K trocável: K fracamente retido no complexo de troca de cátions (CTC) do solo, o qual se encontra ligado às cargas negativas das superfícies orgânicas e inorgânicas;
- ✓ K na matéria orgânica: Corresponde a um pequeno teor, uma vez que está restrito ao K na fração orgânica viva;
- ✓ K na solução do solo: K dissolvido na água do solo e prontamente disponível para as plantas.

Deve-se ressaltar que tais formas estão em equilíbrio entre si através da solução do solo, influenciando na disponibilidade de K para as plantas (NOVAIS et al., 2007) e tendo sua somatória equivalente ao K total do solo. Em solos cultivados, o K é encontrado em quantidades de 7 a 15000 kg ha⁻¹, porém, apenas uma pequena faixa de 1% a 2% (70 a 300 kg ha⁻¹) encontra-se em forma trocável ou solúvel, isto é, em forma assimilável pelas plantas (KORNDÖRFER, 2006).

O K tem boa mobilidade no perfil do solo, o que é importante em situações de aplicação em superfície, uma vez que o elemento atingirá a rizosfera, facilitando a absorção do mesmo. A quantidade de K que percola para camadas inferiores do solo, as quais estão abaixo da faixa de concentração de raízes, é influenciada pela fonte de potássio utilizada, pelo volume de água percolada e pela concentração do K na solução do solo. Sais de potássio de alta solubilidade são facilmente lixiviados especialmente em solos arenosos e de baixa CTC. Segundo Sanzonowicz & Mielniczuk (1985), as perdas de K por percolação ou lixiviação podem ser reduzidas com emprego de fontes menos solúveis e/ou portadoras de ânions pouco móveis no solo, como aquelas oriundas do pó de rocha.

2.3. Cálcio no solo e na planta

O cálcio (Ca) é um nutriente que participa como ativador enzimático e atua no processo de divisão celular, estimulando o desenvolvimento de raízes e folhas. É imóvel na planta por isso sua carência se manifesta principalmente nas folhas novas. A deficiência de Ca caracteriza-se por cloroses nos bordos, descontínuas e em forma de dentes de serra, por engrossamento das nervuras secundárias e diminuição do tamanho da folha (FURTINI NETO et al., 2001).

Segundo Furtini Neto et al., (2001), o Ca desempenha importante papel no crescimento radicular devido a sua ação na divisão e alongação das células. Em solos altamente intemperizados e ácidos o crescimento radicular pode ser reduzido, principalmente abaixo da camada arável, devido à baixa disponibilidade de cálcio.

No solo o Ca ocorre apenas na forma catiônica de Ca^{2+} , apresentando uma dinâmica simples, à semelhança do que é observado para K^+ e Mg^{2+} . A aplicação de cálcio está, normalmente, ligada a prática da calagem. Em situações em que o Ca é requerido sem a necessidade de corrigir a acidez do solo, fertilizantes específicos podem ser usados.

O Ca apresenta-se no solo geralmente em concentrações relativamente elevadas, em média, sua concentração é cerca de dez vezes maior que a de K, muito embora o cálcio seja bem menos absorvido pelas plantas que o potássio. O Ca é praticamente imóvel na planta, portanto um contínuo suprimento é essencial (FURTINI NETO et al., 2001).

2.4. Magnésio no solo e na planta

Uma das funções importantes do Magnésio (Mg), como elemento central da molécula de clorofila, é a participação na fotossíntese. É móvel na planta e em situações de deficiência, ocorre clorose internerval, com as nervuras permanecendo verdes (RAIJ, 1997).

O Mg é pouco exigido pelas plantas. Assim, considera-se que a disponibilidade de Mg é satisfatória em boa parte dos solos e a deficiência deste nutriente não é muito comum. Entretanto, podem surgir problemas com o suprimento de Mg nas seguintes situações: solos ácidos altamente intemperizados, solos arenosos, solos cultivados com aplicação de altas doses de calcário pobre em magnésio e cultivos de espécies mais exigentes (FURTINI NETO et al., 2001).

Ocorre no solo apenas na forma oxidada (Mg^{2+}) e apresenta a semelhança do cálcio, uma dinâmica muito simples. A aplicação do Mg está normalmente associada à

prática de calagem, porém, com o uso de calcários com baixo teor de Mg, pode haver necessidade de uso de fertilizantes específicos (FURTINI NETO et al., 2001).

2.5. Fontes alternativas de nutrientes

O Brasil é um dos principais produtores de alimentos no mundo, sendo também um dos maiores consumidores de fertilizantes (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). O país tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura (KINPARA, 2003), desfavorecendo a balança comercial brasileira e gerando negociações com um grupo restrito de países fornecedores de um insumo essencial à produção agrícola. Nascimento & Loureiro (2004) afirmam que o aumento dos preços internacionais dos fertilizantes potássicos tende a agravar o déficit comercial brasileiro.

Ademais, grandes quantidades de fontes fosfatadas têm sido utilizadas na agricultura brasileira para a obtenção de maiores produtividades. Sousa et al. (2002) afirmam que os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região do Cerrado e variam, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento.

Neste contexto, para suprir a demanda nacional por P e K, empresas brasileiras têm buscado fontes alternativas de fertilizantes. Os estudos pioneiros relacionados ao desenvolvimento de novos produtos foram iniciados nas décadas de 60 e 70, motivados principalmente, por linhas de pesquisas voltadas para a produção de termopotássio, processo de tratamento de rochas com teores mais elevados de K_2O (10 a 20% de K_2O), que apresentam características mais adequadas aos solos tropicais brasileiros (VIOLATTI, 2018).

Uma alternativa para recuperar solos empobrecidos e que perderam seus constituintes naturais é o uso dos remineralizadores de solo. Segundo Melamed et al. (2007), esta é uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos. As rochas moídas que compõe o produto liberam gradualmente os nutrientes, diminuindo assim as perdas por lixiviação, fixação e uma ação em longo prazo.

2.6. Remineralizadores de solo

Em busca de formas sustentáveis de produção e redução da dependência às fontes sintéticas de nutrientes, a utilização de remineralizadores de solo, vulgarmente conhecidos como “pós de rocha”, é uma alternativa bastante promissora para a recuperação e construção da fertilidade desses solos. Segundo a Lei 12.890 de 10/12/2013, Art. 3º (letra e), remineralizador é o “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (BRASIL, 2013). Hipoteticamente, a aplicação do produto ao solo promoverá a liberação de nutrientes contidos no remineralizador de forma gradual para o solo, pressupondo a manutenção da fertilidade e da produtividade por um período mais longo (RIBEIRO, 2016).

A técnica de rochagem é considerada uma tecnologia social de fácil aquisição e de baixo impacto ambiental (THEODORO, 2000). A aplicação de rochas moídas aos solos viabiliza sua remineralização por meio da adição de vários nutrientes que foram perdidos pelos solos ao longo dos processos intempéricos ou antrópicos (LEONARDOS et al., 1987; THEODORO, 2000; THEODORO; LEONARDOS, 2006; STRAATEN, 2007).

Nascimento et al. (2008), destacam os fonolitos de Poços de Caldas – MG, cujos teores de K_2O podem atingir até 12% devido a alto conteúdo do mineral leucita, um feldspatóide com até 21% de K_2O . Atualmente esses fonolitos são lavrados pela empresa Mineração Curimbaba que produz o Ekosil, o primeiro fertilizante potássico natural de origem silicática com registro no MAPA.

O uso dessa tecnologia pode apresentar várias vantagens em relação as fontes solúveis como: trata-se de um insumo de baixo custo disponibilizado naturalmente, agindo como um banco de nutrientes e fornecendo somente a quantidade demandada pelas plantas, na época requerida, evitando perdas dos nutrientes (THEODORO, 2000); há a possibilidade de reequilíbrio do pH do solo e contribuição para o aumento da atividade de microrganismos e de minhocas (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009); baixo ou não risco de contaminação do solo e dos corpos hídricos pelo excesso de oferta, especialmente em solos de clima temperado, tal como vem ocorrendo com as formulações NPK, onde os nutrientes não consumidos acabam sendo lixiviados para os rios, facilitando a eutrofização das águas (THEODORO; LEONARDOS, 2006); permite viabilizar uma produção agrícola que demande menos recursos naturais e, ainda, oferecer

alternativas de manutenção e autonomia do pequeno produtor no espaço rural, seja no curto ou no longo prazo (THEODORO; LEONARDOS, 2006).

Assim como a maioria das tecnologias, a rochagem pode apresentar algumas limitações. De acordo com Osterroht (2003), trabalhos realizados com rochas como fontes de nutrientes podem apresentar resultados pouco consistentes, sobretudo quando os estudos são conduzidos em vasos, em solo estéril ou com baixa atividade biológica, com pequenas quantidades de substrato ou realizados por um curto período em condições de clima temperado. Por outro lado, bons resultados ocorrem se as condições são contrárias, ou seja, clima tropical, experimentos de longa duração, solos com alta atividade biológica e material finamente moído (COLA; SIMÃO, 2012). Considera-se também o maior custo de frete associado a essas fontes de menor concentração, além de menor aplicabilidade, devido a granulometria bem fina do produto.

Outro fator que não pode ser esquecido é a composição da rocha. Dependendo da sua composição, elementos indesejáveis como o alumínio e metais pesados podem ser disponibilizados no solo (MARTINS, 2016). De acordo com Gilkes e Harley (2000), a maior desvantagem da rochagem em relação ao uso de fertilizantes mais concentrados reside na dificuldade ou lenta liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para as plantas.

Além da composição da rocha, a granulometria do material também é um fator que deve ser considerado. Como citado anteriormente, os remineralizadores são materiais de baixa solubilidade, assim, produtos com menor granulometria e maior superfície específica, tendem a ter sua reatividade aumentada em contato com o solo, e consequentemente solubilizar os nutrientes de maneira mais rápida e eficaz para o solo.

2.7. O Kamafugito

Os kamafugitos constituem um grupo de rochas raras encontradas em apenas quatro localidades no mundo, Uganda, Itália, Brasil e China. São rochas de origem vulcânicas, máficas a ultramáficas, insaturadas em Si, de afinidade ultrapotássica, ricas em Ca e voláteis e comumente ocorrem associadas a riftes continentais. Trata-se de uma rocha com a presença de minerais ricos em potássio (flogopita, leucita e kalsilita), que possuem excesso de K_2O em relação a Na_2O (LE MAITRE, 2002; BROD et al., 2000; SAHAMA, 1974).

O estilo eruptivo dos kamafeugitos é muito semelhante ao dos kimberlitos que também pertencem ao grupo seletivo de rochas ultrapotássicas. Em geral o magmatismo é explosivo, rico em CO₂, com a formação de *pipes*, depósitos de queda, diques e mais raramente lavas. Outra característica interessante dos kamafeugitos é a sua associação com os carbonatitos, conforme documentado em províncias alcalinas de Uganda, Itália e China (BROD et al, 2008).

A mineralização de fosfato nas rochas vulcânicas ocorre praticamente em toda a região de ocorrência da unidade e tem sido alvo sistemático de pesquisas desde a década de 1990 (THEODORO, 2000). Theodoro (2000) destacou os valores elevados de K₂O e P₂O₅, nos platôs dominados pelas rochas epiclásticas e vulcânicas do Grupo Mata da Corda quando comparados com os teores encontrados em solos pouco férteis. A autora destaca os solos derivados dessas rochas entre os mais férteis do Brasil e suportaram, no passado recente, uma das mais exuberantes florestas do Centro-Oeste, a Mata da Corda.

Outros trabalhos como de Martins et al. (2008), Nascimento et al. (2008), Luz et al. (2010), Martins et al. (2014), destacaram o potencial das rochas ultrapotássicas como fontes alternativas de K para a agricultura em substituição às fontes convencionais (KCl).

Considerando o trabalho de Nascimento et al. (2008), observa-se a indicação das rochas vulcânicas do Mata da Corda-MG como fontes potenciais de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e de micronutrientes (Fe, Cu, Co, Mn, Ni, Zn e etc).

Theodoro et al., (2013), trabalharam com os materiais kamafeugito, basalto fresco, basalto intemperizado, micaxisto, e rocha metamórfica hidrotermalizada, nas culturas de milho, feijão, quiabo, alho e cenoura. Os autores observaram diferentes resultados pelas culturas pela diferente disponibilidade de nutriente dos materiais, mas sempre positivo em relação a testemunha. Quanto a caracterização química encontrada, o micaxisto e o kamafeugito apresentaram destaque em potássio e cálcio, e a rocha hidrotermalizada em P e Ca, e os basaltos em Ca (ALMEIDA, 2018).

Os kamafeugitos quando intemperizados são uma importante fonte de argilas 2:1, tais como vermiculita, esmectita e montmorilonita. Essas argilas quando disponíveis no solo aumentam a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e a Capacidade de Retenção de Água (CRA) do solo. Esses fatores são importantes na manutenção e fixação de cátions solúveis tais como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e outros micronutrientes que são adsorvidos pelas argilas 2:1. Conseqüentemente solos com alta fertilidade estão associados a formação de argilas 2:1 (Martins et al. 2014).

2.7.1. Obtenção do kamafugito

No que se refere à obtenção do produto, consideram-se três operações fundamentais que envolvem a lavra do minério, o transporte e o processamento. Estas etapas são essenciais para a obtenção do produto final, conforme descritas abaixo.

2.7.1.1. Lavra

A lavra do minério (rocha kamafugítica) é realizada a céu aberto, em bancadas aproximadamente SW-NE acompanhando as curvas de nível e a orientação geral do corpo de minério. A operação é executada por meio de frota convencional, utilizando escavadeira hidráulica, pá carregadeira, caminhões rodoviários basculantes e trator de esteiras para auxiliar na lavra de materiais mineralizados e estéreis da cava a céu aberto, e, posteriormente transportá-los para o pátio de produtos.

As operações que precedem a aplicação deste método de lavra são descritas a seguir:

Desmatamento e limpeza – nos arredores da cava da mina onde ocorre predominantemente vegetação secundária, procede-se o desmatamento desta vegetação e remoção do material resultante desta atividade.

Remoção do solo orgânico – em seguida, é feita a remoção do solo orgânico. Esta remoção é realizada por tratores de esteiras, pás carregadeiras e caminhões basculantes, sendo estocado em locais adequadamente selecionados para posterior utilização nas operações de revegetação das áreas mineradas e das pilhas de estéril.

Remoção de estéril – considera-se como estéril as camadas, ainda que pouco espessas de cobertura laterítica e rocha intemperizada com baixos teores de potássio e fosfato (estéril). Este material ocorre cobrindo as massas mineralizadas e a sua remoção será feita com o uso de escavadeiras hidráulicas e caminhões, e serão dispostos no nas áreas exauridas formadas pela extração do minério. O estéril pode ser, em determinadas circunstâncias, composto por minério de mais baixo teor poderá ser aproveitado futuramente.

Lavra do minério – são utilizados os mesmos tipos de equipamentos de escavação, carregamento e transporte referentes à remoção de estéril. Os diferentes tipos de minério serão transportados pelos caminhões para a o pátio de estocagem de minério.

Para a operação de lavra devem ser adotados parâmetros geométricos e geotécnicos que garantam a seletividade, operacionalidade e segurança das operações. Na configuração final da cava de extração as bermas podem ter largura de 1,5 m que é suficiente para garantir ângulo geral requerido pelas litologias lavradas. No entanto, durante as operações de lavra as bermas devem possuir largura de 3,0 m, que é a dimensão necessária para garantir a segurança da operação.

2.7.1.2. Processamento

A usina é dividida em duas unidades, uma de secagem e outra de moagem.

Pátio de Secagem

A secagem é feita no pátio de estocagem com a formação de pilhas retangulares de 10,0 m de comprimento por 5,0 m de largura e 0,25 m de altura. As pilhas ficam expostas ao sol e são periodicamente revolvidas com trator e grade agrícola de forma de aumentar a exposição da superfície do material ao sol e conseqüentemente reduzir a sua umidade.

Unidade de Moagem

Após a etapa de secagem o minério segue para a unidade de moagem com alimentação feita com auxílio de pá carregadeira e caminhão basculante. São utilizados moinhos de martelo-faca com abertura de alimentação de 160 x 600 mm. O produto da moagem, com granulometria pó (100% < 2mm, 70% < 0,84 mm e 50% < 0,3 mm), segue por correia transportadora para a área de estocagem de produto.

2.8. Caracterização física e química do kamafugito

Os produtos filler e pó foram caracterizados quanto suas características físicas, de acordo com as peneiras estabelecidas pelo MAPA (Tabela 1).

Tabela 1. Análise granulométrica do kamafugito nas formas filler e pó.

Classificação granulométrica	% passante	Peneira (mm)	Peneira ABNT – NR
Pó	100	< 2,00	10
	100	< 0,84	20
	80	< 0,50	35
	60	< 0,30	50
	40	< 0,15	100
	20	< 0,074	200
	100	> 0,045	325
Filler	100	< 0,074	200
		> 0,045	325

Fonte: A autora.

Amostras do minério foram submetidas à extração com ácidos inorgânicos e orgânicos com a finalidade de estimar a disponibilidade de nutrientes e outros elementos químicos ao solo e às plantas (Tabela 2). Outro objetivo foi verificar se as características do minério se enquadram dentro das exigências, especificações e garantias mínimas para registro do produto como remineralizador (Tabela 3), segundo a IN N°5/2016 do MAPA.

Tabela 2. Análise química do kamafugito, segundo o Insituto Brasileiro de Análises (IBRA).

Ensaio	Resultado	LQ	Método
Nitrogênio	0,17 %	0,1	Micrométodo da Liga de Raney
Fósforo Total	5,37 %		Gravimétrico do Quimociac
Fósforo sol. Ácido Cítrico 2%	2,24 %		Gravimétrico do Quimociac
Fósforo sol. CNA + Água	2,08 %		Gravimétrico do Quimociac
Fósforo (sol. em água)	0 %		Gravimétrico do Quimociac
Potássio (HNO ₃ + HClO ₄)	2,22 %		Espectrométrico por Emissão
Potássio (Ácido Cítrico 2% rel.1:500)	1,86 %		Espectrométrico por Emissão
Potássio (Ácido Cítrico 2% rel. 1:100)	0,08 %		Espectrométrico por Emissão
Potássio (CNA) 1:100	0,07 %		Espectrométrico por Emissão
Potássio (sol. em água)	0,19 %		Espectrométrico por Emissão
Enxofre	0,07 %		Gravimétrico do Sulfato de Bário
Capacidade de Troca Catiônica	420 mmol _c /kg		Titulação
Capacidade de Retenção de Água	44,89 %		Gravimétrico
pH (H ₂ O rel 1:10)	7,5		pH em Água
Umidade (65 °C)	6,24 %		Perda por Secagem
Poder de Neutralização	21,5 %		Titulação Potenciométrica
Cálcio (HNO ₃ + HClO ₄)	2,9 %		Espectrométrico Atômico Absorção
Magnésio (HNO ₃ + HClO ₄)	2,58 %		Espectrométrico Atômico Absorção
Ferro (HNO ₃ + HClO ₄)	79440 mg kg ⁻¹		Espectrométrico Atômico Absorção
Manganês (HNO ₃ + HClO ₄)	1343 mg kg ⁻¹		Espectrométrico Atômico Absorção
Molibdênio (HNO ₃ + HClO ₄)	208,9 mg kg ⁻¹		Espectrométrico Atômico Absorção
Sódio (HNO ₃ + HClO ₄)	532,15 mg kg ⁻¹		Espectrométrico por Emissão
Zinco (HNO ₃ + HClO ₄)	161,02 mg kg ⁻¹		Espectrométrico Atômico Absorção
Cádmio (HNO ₃ + HClO ₄)	< LQ	0,09	EPA
Chumbo (HNO ₃ + HClO ₄)	17,4 mg kg ⁻¹	0,38	EPA
Mercúrio (HNO ₃ + HClO ₄)	< LQ	0,02	EPA
Arsênio (HNO ₃ + HClO ₄)	1,28 mg kg ⁻¹	0,3	EPA
Condutividade Elétrica	0,1% 0 mS/cm		Célula de Condutividade

Os produtos kamafugito filler e pó foram novamente caracterizados quimicamente antes da instalação dos experimentos descritos nos capítulos a seguir. Em todas as análises realizadas o produto se enquadrou nas garantias mínimas para sua classificação e posterior registro como remineralizador de solo junto ao Ministério da Agricultura (MAPA), conforme especificado na tabela abaixo.

Tabela 3. Especificações e garantias mínimas dos remineralizadores de acordo com a IN N°5/2016.

Especificação	Descrição	Garantia Mínima
CaO + MgO + K₂O	Soma das bases (macronutrientes)	≥ 9%
K₂O	Macronutriente	≥ 1%
SiO₂ livre	Refere-se a quartzo livre	≤ 25% vol.
As	Elemento Potencialmente Tóxico	≤ 15 mg kg ⁻¹
Cd	Elemento Potencialmente Tóxico	≤ 10 mg kg ⁻¹
Hg	Elemento Potencialmente Tóxico	≤ 0.1 mg kg ⁻¹
Pb	Elemento Potencialmente Tóxico	≤ 200 mg kg ⁻¹

2.9. Composição mineralógica

Os kamafugitos são rochas ígneas insaturadas em Si, de afinidade ultrapotássica, ricas em Ca. A natureza ultrapotássica dessas rochas está relacionada ao excesso de K₂O em relação a Na₂O. A origem do potássio nessas rochas está diretamente relacionada à presença de minerais ricos nesse elemento, tais como flogopita, leucita e kalsilita. Ademais alguns argilominerais presentes, produto de alteração de minerais primários, também apresentam potássio em sua estrutura química. Minerais de afinidade ferro-magnésiana também são encontrados na paragênese mineral dessas rochas, tais como Magnetita, Clinopiroxênio (diopsídio) e em menor porcentagem Ilmenita, Hematita e Calcopirita. A presença de fósforo nessas rochas está diretamente relacionada à presença de Apatita e Gorceixita, enquanto a presença de cálcio é relacionada aos minerais Calcita, Perovskita, Apatita e Melilita.

Devido à baixa saturação de silício, o quartzo não é um mineral presente na paragênese mineral desses litotipos, sendo, portanto, a quantidade de “sílica livre” (SiO₂),

igual a zero em rochas de composição kamafugítica. A Tabela 4 apresenta um quadro com a composição mineralógica variável dos kamafugitos encontrados na área pesquisada.

Tabela 4. Composição mineral média dos kamafugitos.

Mineral	Porcentagem
Leucita $KAlSi_2O_6$	6 – 12
Kalsilita $KAlSiO_4$	5 - 23
Flogopita $K(Mg, Fe_{2+})_3Si_3AlO_{10}(OH,F)_2$	1 - 5
Melilita $(Ca,Na)_2(Mg,Fe,Al,Si)_3O_7$	1 - 7
Olivina $(Mg,Fe)_2SO_4$	4 - 6
Apatita $Ca_5(PO_4)_3(F,OH,Cl)$	5 - 15
Gorceixita $BaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$	1 - 3
Perovskita $CaTiO_3$	4 – 10
Anatásio TiO_2	2 – 5
Calcita $CaCO_3$	5 – 22
Clinopiroxênio $CaMgSi_2O_6$	10 - 37
Magnetita Fe_3O_4	2 – 6
Rutilo TiO_2	1 - 3
Argilominerais (montmorilonita, esmectita, vermiculita)	20 - 62
Ilmenita $FeTiO_2$	< 1
Hematita Fe_2O_3	< 1
Calcopirita $CuFeS_2$	Traço

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adriano Nunes. de. **Atributos químicos e físicos de latossolos decorrentes da aplicação de metabasalto**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de Passo Fundo, 2018.

ANDA (2020): Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, **Associação Nacional para a Difusão de Adubos**.

ANDA (2019): Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, **Associação Nacional para a Difusão de Adubos**.

ANDA (2016): Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, **Associação Nacional para a Difusão de Adubos**.

ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 682-688, 1980. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200040028x> Acesso em: 05 mar. 2021.

BARBER, S. A. **Soil nutrient biavailability: a mechanistic approach**. New York: J. Wiley & Sons, 1995. 414 p.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio**, 11 ed. 2020.

BRASIL. Lei nº 12890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 dez. 2013. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2013/lei-12890-10-dezembro-2013-777603-publicacaooriginal-142208-pl.html>. Acesso em: 29 mar. 2020.

BROD, J. A. et al. The Kamafugite–Carbonatite association in the Alto Paranaíba igneous province (APIP), Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, p. 408-412. 2008. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000303408412>

CAKMAK, I. Protection of plants from detrimental effects of environmental stress factors. *In*: Potássio na agricultura brasileira. Simpósio sobre Potássio na agricultura brasileira. **Anais [...]**. São Paulo: 2005, p. 261-279.

CARDOSO, I.M; KUYPER, T.W. **Mycorrhizas and tropical soil fertility**. *Agriculture Ecosystem Environment*. v. 116, p. 72–84, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011>

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n.4, p. 15, 2012. ISSN 1981-8203.

Disponível em: <https://gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1114/1336>. Acesso em: 11 fev 2021.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas**. In: NOVAIS RF; ALVAREZ VVH; BARROS NF; FONTES RLF; CANTARUTTI RB; NEVES JCL (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV. 2007, p. 92-132.

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Camberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995.

FURTINI, NETO, A.E; VALE, F.R; RESENDE, A.V; GUILHERME, L.R.G; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Lavras, ESAL/FAEPE. 2001, 252p.

GILKES, R. J.; HARLEY, A. D. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v.56, n. 1, p. 11-36, jan. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009859309453>

GOEDERT, J. W. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC; São Paulo: Nobel, 1987, 422p.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.95, 2001.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**. 7th ed., Prentice Hall: New Jersey, 2005.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI. **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas**, 2016.

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. **Nutrition studies on Eucalyptus**. V. **Diagnosis of mineral deficiencies in Eucalyptus citriodora seedlings**. Indian Forester, v.96, n.10, p.787-90, 1970.

KORNDÖRFER, G. H. Apostila Potássio. 2006. Disponível em <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf>. Acesso em: 15 set. 2020.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27p. (Documentos, 100).

LANA, R.M.Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; KORNDORFER, G.H.; MACIEL JUNIOR, V.A. **Parcelamento da adubação potássica na cana-planta**. STAB Açúcar, Álcool Subprodutos, p. 28-31, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000400021>

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; RIBEIRO, R.C.C. Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto. Breve síntese conceitual. In: FIGUEIREDO NETO,

E.J.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MELAMED, R. (ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 149 – 165.

LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G AND CHIEN S. H. **Phosphate minerals. In Minerals in soil environment**, 2nd edn. Eds J B Dixon and S B Weed. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. p. 1089–1130.1989. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c22>

LE MAITRE, R. W. **Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks**. 2nd ed. Cambridge, NY: Cambridge University Press, 2002. <https://doi.org/10.1017/S001675680388028>.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? **Chemical Geology**, v. 60, n. 4, p. 361-370, March 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90143-4). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254187901434?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan 2021.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos**. 3. ed. São Paulo: ANDA.2000.

LUZ A. B.; FRANCISCO E. LOUREIRO L., SAMPAIO A. J., CASTILHOS Z. C., BEZERRA M. S. **Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos agrominerais para o brasil**. Centro De Tecnologia Mineral Rio de Janeiro. cap. 4 p. 61 – 88, 2010.

LOPES, A. Scheid; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. P. da. **Vocação da Terra**, ANDA, 2003, 23p.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. *In*: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Campinas, Fundação Cargill, p. 3-64, 1985.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARTINS, É. S. Pó de rocha silicática é alternativa no condicionamento do solo. **Campo & Negócios**, Uberlândia, 2016. Disponível em: <http://www.revistacampoenegocios.com.br/po-de-rocha-silicatica-e-alternativa-nocondicionamento-do-solo/>. Acesso em: 20 jan. 2021.

MARTINS E. S., SILVEIRA C. A. P., BAMBERG A. L., MARTINAZZO R., BERGMANN M., ANGÉLICA R. S., **Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture**. 16th World Fertilizer Congress of CIEC. 2014. p. 138 - 140.

MARTINS, E. S., OLIVEIRA, C. G., RESENDE, A. V., MATOS, M. S. F. Agro minerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para Agricultura. *In: Rochas e Mineraias Industriais – Usos e Especificações*, 2008. p.205-221.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press. 1995. 889 p.

MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Brasília: CETEM/MCT, 2007. (Série estudos e documentos, 72). Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/serie_sed.htm>. Acesso em: 09 jul. 2020.

MEURER, E.J. **Potássio**. *In: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006, p.281-298.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**: Instituto brasileiro da potassa e fosfato (EUA) e Instituto internacional da Potassa. (Boletim técnico 2). 1980. 80p.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade**: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66 p. (Série Estudos e Documentos n. 61).

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 399p, 1999.

NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2007, 101p.

OGINO, Cristiane Mitie *et al.* Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 59, 2021. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032021000100200&lng=en&nrm=iso. Acesso em 11 Apr. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220367>

OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, v. 4, n. 20, p. 12-14, ago./set., 2003.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991, 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, 2ed. **Revista ampliada**. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, São Paulo. 1997. 285p.

RIBEIRO, G. M. Já ouviu falar em remineralizador? Ou pó de rocha? Ou rochagem? **Folha Agrícola**. Francisco Beltrão, mar. 2016. Disponível em: <http://folhaagricola.com.br/artigo/ja-ouviu-falar-em-remineralizador-ou-po-de-rochaou-rochagem>. Acesso em: 28 mar. 2021.

ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. **Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla***. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo. v.35, n.35, p.19-34, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0071-12761978000100002>

SAHAMA, T. G. Potassium-rich alkaline rocks. In H. Sorensen (Ed.), **The Alkaline Rocks**. London: Wiley. 1974.

SANCHEZ, P.; SALINAS J, G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**. 34:280–406, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60889-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60889-5). Disponível em: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/S%20599%20.9.%20T76%20S2.pdf

SANCHES, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy. Department of Soil Science, University of Chittagong, Chittagong, Bangladesh. p. 471-514, 1980. DOI: <https://doi.org/10.2134/1980.roleofphosphorus.c18> Disponível em: https://www.scrip.org/pdf/OJSS_2014031409510397.pdf. Acesso em: 20 jan. 2021.

SANZONOWICKZ, C; MIELNICZUK, J. **Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos**. Revista Brasileira de Ciências do Solo. v.9 p. 45-50, 1985.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Adubação com fósforo**. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, Embrapa Cerrados, p.147-168, 2002.

SOUZA, A. E. de.; FONSECA, D. S. **Balanço Mineral** – Edição 2008, Texto FOSFATO, DNPM/MME, Brasília DF, 2008.

Disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-2-fosfato#>. Acesso em: 24 de abr. 2021.

SOUZA, S. F. de; FONSECA, S. U. L. de. Logística reversa: oportunidades para redução de custos em decorrência da evolução do fator ecológico. **Revista Terceiro Setor & Gestão**, Guarulhos, SP, v. 3, n. 1, p. 29-39, 2009.

STEEN, I. Management of a non-renewable resource. **Journal: Phosphorus & Potassium**, n. 217, p. 25-31, 1998.

STRAATEN, P. Van. **Agrogeology: the use of rock for crops**. Ontario: Enviroquest, 2007.

THEODORO, Suzi de Córdova Huff. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2000.

VIOLATTI, I. C. A. **Siltito glauconítico calcinado e não calcinado como fertilizantes para *Urochloa brizantha* cv. Marandú.** 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21647/1/SILTITOGLAUCON%C3%8DTICOCALCINADO.pdf>. Acesso em 15 abr. 2021.

VOLKSWEISS, S.; RAIJ, B. Van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M. G., (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1977, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: USP, 1977. p. 317-332.

WILL, G.M. **Some change in the growth habit of *Eucalyptus* seedlings caused by nutrient deficiencies.** Empire Forestry Review, v.40, n.4, p. 301-307, 1961.

YAMADA, T. Potássio: situação atual, problemas e perspectivas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 6., São Paulo, 1994. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1994. p. 17-33.

CAPÍTULO 2 - Reatividade e disponibilização de nutrientes provenientes do kamafugito

RESUMO

FERREIRA, BÁRBARA. Reatividade e disponibilização de nutrientes provenientes do kamafugito.

Os solos tropicais, como os solos brasileiros, são classificados como ácidos, intemperizados e pobres em nutrientes, o que limita o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular das plantas. A decomposição natural das rochas é a principal fonte de nutrientes para as plantas em ecossistemas naturais. Objetivou-se com o presente trabalho determinar a reatividade, a liberação de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, e o poder corretivo de doses crescentes do kamafugito, em duas granulometrias, filler e pó, aplicadas em dois tipos de solo. Os produtos foram incubados em dois tipos de solo, Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) com 40% de argila e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) com 11% de argila. Os tratamentos foram arranjados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições em esquema fatorial $2 \times 4 + 4$, compreendendo duas granulometrias do kamafugito (filler e pó) e quatro doses do produto (1250, 2500, 5000 e 7500 mg dm⁻³) adicionados e incorporados a 300 g de solo, e quatro tratamentos adicionais utilizados para comparar o kamafugito com fontes conhecidas aplicadas nas doses de 95 mg dm⁻³ de P₂O₅ (superfosfato triplo), 100 mg dm⁻³ de K₂O (KCl) e 83 mg dm⁻³ de Ca (CaCO₃), havendo ainda a testemunha sem adição de nutrientes. O kamafugito se mostrou eficaz em aumentar o teor dos nutrientes no solo, principalmente para as maiores doses aplicadas, porém, ainda abaixo da eficácia das fontes solúveis. De maneira geral, a granulometria mais fina do produto (filler), incrementou os teores dos nutrientes no solo de maneira mais significativa em relação à forma pó.

Palavras-chave: pó de rocha, incubação, remineralizador, liberação de nutrientes, fertilidade.

ABSTRACT

FERREIRA, BÁRBARA. **Reactivity and nutrients release from kamafugite**

Tropical soils, like Brazilian soils, are classified as acidic, weathered and poor in nutrients, which limits the deep development of the root system of plants. The natural decomposition of rocks is the main source of nutrients for plants in natural ecosystems. The objective of this study was to determine the reactivity, the release of phosphorus, potassium, calcium and magnesium, and the corrective power of increasing doses of kamafugite, in two granulometries, filler and powder, applied in two types of soil. The products were incubated in two types of soil, a typical Dystrophic Red Latosol (LVdt) with 40% clay and the typical Orthic Quartzarenic Neossolo (RQo) with 11% clay. The treatments were arranged in a completely randomized design (DIC), with four replications in a 2 x 4 + 4 factorial scheme, comprising two granulometries of the kamafugite (filler and powder) and four increasing doses of the product (1250, 2500, 5000 and 7500 mg dm⁻³) added and incorporated in plastic pots with 300 g of soil. Four additional treatments were used in order to compare kamafugite with known sources of nutrients P, K and Ca, so doses of 95 mg dm⁻³ of P₂O₅ supplied by triple superphosphate (TSP), 100 mg dm⁻³ of K₂O supplied by KCl and 83 mg dm⁻³ of Ca supplied by CaCO₃ were applied, in addition to the control without the addition of nutrients. After 60 days of incubation, the P, K, Ca, Mg contents in the soil were analyzed in addition to the soil pH. The kamafugite proved to be effective in increasing the content of nutrients in the soil, mainly for the highest applied doses, however, still below the effectiveness of soluble sources. In general, the finer granulometry of the product (filler), increased the levels of nutrients in the soil in a more significant way in relation to the powder form.

Keywords: rock dust, incubation, remineralizer, nutrients release, soil fertility.

3. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais, como os solos brasileiros, são classificados como ácidos, intemperizados e pobres em nutrientes, o que limita o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular das plantas. Nesses solos a produção da maioria das culturas é fortemente dependente a aplicação de fertilizantes no sistema solo-planta. Neste contexto, a agricultura brasileira está sendo sustentada pelo emprego de grandes quantidades de adubos e corretivos, sendo o quarto maior consumidor de fertilizante a nível mundial, e responsável por apenas 2% da produção mundial de adubos (LOBO, 2008).

A decomposição natural das rochas é a principal fonte de nutrientes para as plantas em ecossistemas naturais. Nos sistemas agrícolas atuais, os nutrientes removidos pelas culturas são reabastecidos, em sua maioria, por fertilizantes NPK solúveis, podendo resultar em problemas ambientais como eutrofização, emissão de gases de efeito estufa etc. Além disso, os fertilizantes mais concentrados geralmente contêm apenas alguns dos macronutrientes necessários às plantas (HEIM et al., 2010).

Os remineralizadores de solo podem ser utilizados como fonte de nutrientes de liberação lenta em sistemas agrícolas extensivos. Trata-se de um processo lento em comparação com as fontes solúveis de fertilizantes, mas é compensada por uma oferta multivariada de elementos por um período de tempo mais longo, uma vez que os nutrientes são liberados de forma gradual, contribuindo também para a diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação e fixação (THEODORO et al., 2013). No entanto, tal processo pode ser acelerado pelo tipo de manejo, bem como principalmente pela mineralogia do material, a granulometria do produto, do clima e da biologia do solo.

Assim, os minerais de liberação lenta (apatita, biotita, entre outros) se tornam fontes alternativas aos sais convencionais de liberação rápida de P, K, Ca e Mg. Além da liberação de nutrientes, a acidez do solo pode ser neutralizada de forma constante pela solubilização de pós de rocha, o que melhora o pH do solo ao longo prazo (AARNIO et al., 2003).

Além disso, atualmente a demanda por alimentos produzidos de forma mais sustentável está em constante crescimento. Assim, os minerais geológicos, a exemplo das rochas fosfatadas e rochas potássicas, apatitas, biotitas, sejam em formas processadas ou brutas, são identificados como fontes alternativas de nutrientes e são aplicáveis para o manejo sustentável do solo e para a produção agrícola (STRAATEN, 2002). Neste

contexto, observa-se ainda a redução do potencial de poluição ambiental causado pelo uso de grandes quantidades de insumos químicos, bem como a redução do custo de produção e a disponibilização de produtos nacionais mais competitivos no mercado.

Kamafugito é um termo coletivo que engloba rochas vulcânicas, máficas e ultramáficas (ugandito, mafurito e katungito), subsaturadas em silício (Si), em que as fases félsicas são feldspatóides potássicos (leucita e kalsilita) (LUZ et al., 2010). A natureza ultrapotássica dessas rochas permite a cristalização de minerais ricos em K, além de sua associação com carbonatitos, conforme documentado em províncias alcalinas de Uganda, Itália e China. Há também relatos da presença de minerais ricos em P, Mg e Ca presentes nas rochas kamafugíticas, tornando-se alvo de pesquisas desde 1990 para seu potencial uso na agricultura.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar a reatividade, a liberação de P, K, Ca e Mg, e o poder corretivo do kamafugito, aplicado em diferentes doses e granulometrias, em dois tipos de solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização química e física dos solos e do kamafugito

A fim de determinar a reatividade e a disponibilização de P, K, Ca e Mg liberado aos solos provenientes do kamafugito, foi conduzido um teste de incubação na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. Os produtos foram incubados em dois tipos de solo, Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) com 40% de argila e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) com 11% de argila. 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); EMBRAPA, 2009); 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	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
LVd	546	54	400
RQo	822	68	110

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

Foram testados os produtos indicados na Tabela 3, sendo que os mesmos foram caracterizados quanto a seus teores de K₂O total, P₂O₅ total, e teores de Ca e Mg segundo EMBRAPA (2009). Também foi realizada uma análise granulométrica do kamafugito, filler e pó, pela qual a forma pó possui granulometria entre 0,84 e 0,045 mm e a forma filler entre 0,074 e 0,045 mm.

Tabela 3. Caracterização química das fontes dos produtos que foram utilizados no experimento.

Fontes	P ₂ O ₅	K ₂ O**	Ca**	Mg**
	----- % -----			
Kamafugito (pó)	3,8	4,0	3,3	2,5
Kamafugito (filler)	3,8	4,0	3,3	2,5
CaCO ₃	--	--	40,0	--
KCl (padrão K)	--	60	--	--
SFT (padrão P)	45	--	14	--

**Extração com HNO₃ + HCl + HF

4.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram arranjados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições em esquema fatorial 2 x 4 + 4, compreendendo duas granulometrias do kamafugito (filler e pó), quatro doses do produto (1250, 2500, 5000 e 7500 mg dm⁻³) adicionados e incorporados a 300g de solo, incluindo ainda quatro tratamentos adicionais utilizados para comparar o kamafugito com fontes conhecidas, fornecendo 95 mg dm⁻³ de P₂O₅ via SFT, 100 mg dm⁻³ de K₂O via KCl e 83 mg dm⁻³ de Ca via CaCO₃, além da testemunha sem adição de nutrientes, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Doses do kamafugito, de fósforo (P₂O₅), potássio (K₂O), cálcio (Ca) das diferentes fontes que foram utilizadas nos dois tipos de solo.

Fonte/Material (*)	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ca	Mg	Dose Fonte no solo	
					mg dm ⁻³	mg 300g ⁻¹
Testemunha	0	0	0	0	0	0
KCl (padrão K)	100	----	----	----	167	50
SFT (padrão P)	----	95	----	----	211	63
CaCO ₃ (padrão Ca)	----	----	83	----	206	62
Kamafugito (pó)	50	48	41	31	1250	375
Kamafugito (pó)	100	95	83	63	2500	750
Kamafugito (pó)	200	190	165	125	5000	1500
Kamafugito (pó)	300	285	248	188	7500	2250
Kamafugito (filler)	50	48	41	31	1250	375
Kamafugito (filler)	100	95	83	63	2500	750
Kamafugito (filler)	200	190	165	125	5000	1500
Kamafugito (filler)	300	285	248	188	7500	2250

O kamafugito nas diferentes doses e granulometrias, assim como os produtos SFT, KCl e CaCO₃ foram misturados, dentro de um saco plástico, com 300 g de solo seco ao ar e peneirado, (Figura 1). Após a mistura, o solo foi colocado em recipientes plásticos (Figura 2) e foi adicionada água destilada em quantidades iguais em cada recipiente, de acordo com a capacidade de retenção de água de cada solo, sendo aplicados 85 mL para o Latossolo Vermelho e 65 mL para o Neossolo Quartzarênico, a fim de manter a umidade em torno de 80% do valor da capacidade de campo de cada solo (Figuras 2 e 3). As amostras foram mantidas em recipientes plásticos, cujas tampas apresentavam orifícios para permitir a trocas gasosas, e a água foi reposta periodicamente.

Figura 1 - Incorporação das fontes ao solo através de saco plástico.



Fonte: Ramos (2005).

Figura 2 - Água adicionada nos recipientes plásticos com o solo.



Fonte: Ramos (2005).

Figura 3 - Solo incubado em recipientes plásticos tampados.



Fonte: Ramos (2005).

4.3. Variáveis analisadas

Após 60 dias de incubação, as amostras de solo foram secas em estufa a 50°C, peneiradas e levadas ao laboratório de tecnologia de fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Umuarama, Uberlândia - MG, para posteriores análises químicas. O P e K dos solos foi extraído pela solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), conforme método descrito por Tedesco et al. (1995) e o P também foi extraído com resina trocadora de íons. Também foram realizadas as análises de Ca e Mg trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹) e pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) (EMBRAPA, 2009).

4.4. Análise estatística

Os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008), com teste de Tukey a 0,05 de significância. Os tratamentos foram comparados ao tratamento testemunha (dose 0) e aos adicionais positivos (SFT, KCl e CaCO₃) pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância, utilizando-se o programa ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2009). As doses do kamafugito foram analisadas por meio de ajuste matemático (regressão polinomial). Os tratamentos padrões foram ajustados às regressões obtidas para verificar as doses equivalentes do kamafugito para cada padrão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Potássio no solo

Observou-se que, para todas as doses do kamafugito, filler e pó, os resultados foram inferiores ao padrão KCl, apesar disso, as aplicações de 200 e 300 mg dm⁻³ de K₂O provenientes do remineralizador em pó no solo argiloso, ou de 300 mg dm⁻³ de K₂O independente da granulometria do produto, superaram os teores de K da testemunha (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de K nos solos arenoso e argiloso, extraído por Mehlich, em função da aplicação de doses de K₂O provenientes de diferentes fontes 60 dias após a aplicação.

----- K Mehlich -----						
Dose de K ₂ O	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----			----- mg dm ⁻³ -----		
KCl (100 mg dm ⁻³)		104,2			121,3	
0		22,5			13,8	
50	23,9+	25,0+	24,5	15,1+	15,0+	15,0
100	27,4+	32,1+	29,8	17,3+	16,8+	17,0
200	31,6+	40,2*+	35,9	19,1+	18,4+	18,8
300	33,0+	43,2*+	38,1	21,0*+	20,0*+	20,5
Média	29,0 b	35,1 a		18,1 a	17,5 a	

Solo Argiloso: DMS_{Tukey}=3,4; DMS_{Dunnnett}=10,8; CV(%)=13,9; Solo Arenoso: DMS_{Tukey}=4,3; DMS_{Dunnnett}=6,1; CV(%)= 14,9;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * e + diferem, respectivamente, da testemunha e do padrão (KCl), pelo teste de Dunnnett a 0,05 de significância.

Tal resultado já era esperado uma vez que a fonte KCl é altamente solúvel, necessitando de um menor tempo de reação no solo e disponibilizando mais facilmente o nutriente na solução do solo em comparação com o kamafugito, que é uma fonte de baixa solubilidade.

O teor médio de K no solo argiloso, quando aplicada a forma de pó do kamafugito, supera o resultado da aplicação na forma filler, com incremento de 6,1 mg dm⁻³ de K (Tabela 6). Tal comportamento não se repete no solo arenoso, onde as duas formas do kamafugito apresentam comportamento semelhante com médias de 18,1 mg dm⁻³ de K para a forma filler e 17,5 mg dm⁻³ de K para a forma pó (Tabela 6). Uma possível explicação para este fato seria de que, no solo argiloso, com maior capacidade tampão, a granulometria mais fina do remineralizador é mais adsorvida na superfície das argilas, diminuindo a disponibilidade de K neste tipo de solo.

O estudo de doses mostra que não existe diferença no comportamento das duas granulometrias e que, o aumento da dose de K₂O aplicada resulta em aumento do teor de K no solo (Tabela 7). As variações aparecem quando se analisa os incrementos que cada material (filler ou pó) gera no teor de K de cada solo e, a partir dessa análise tem-se que, o K no solo aumenta 0,06 mg dm⁻³ em resposta à aplicação de cada mg dm⁻³ de K₂O proveniente do kamafugito no solo argiloso, e no solo arenoso esse incremento é de 0,02 mg dm⁻³ (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito do aumento da dose de K₂O aplicada via kamafugito filler e pó (média das duas fontes) no teor de K nos solos arenoso e argiloso, extraído por Mehlich.

Solo	Equação	R ²
----- Mehlich -----		
Argiloso	$\hat{y} = 22,96 + 0,06*x$	95,15 %
Arenoso	$\hat{y} = 14,15 + 0,02*x$	97,38 %

*, significativo a 5% de probabilidade

Com a finalidade de se entender melhor o comportamento do aumento das doses do kamafugito, nesse caso de interação não significativa entre as diferentes granulometrias, estudou-se a curva de média das duas fontes, para o aumento do teor de K no solo proveniente do remineralizador, em cada solo, em comparação com o resultado da aplicação do fertilizante padrão (KCl).

O kamafugito deverá ser aplicado nas doses aproximadas de 1350 mg dm⁻³ no solo argiloso (Figura 4A) e 5360 mg dm⁻³ no solo arenoso (Figura 4B) para atingir o mesmo teor de K obtido no tratamento padrão, independente da granulometria do material.

Observou-se maior incremento de K no solo para o solo argiloso em relação ao solo de textura arenosa. Tais resultados vão de acordo com os encontrados por Castro et al. (2006) que, ao avaliarem cinco rochas brasileiras (arenito vulcânico, brecha alcalina, carbonatito, biotita xisto e ultramáfica alcalina) como fontes alternativas de potássio para a cultura do girassol, observaram aumentos nos teores de K no solo com a aplicação das rochas, exceto quando a fonte Arenito Vulcânico foi utilizada. Os autores também observaram maiores teores de K no Latossolo Vermelho Distroférico em relação ao Neossolo Quartzarênico devido a, neste último, o solo possuir menor CTC e, portanto, menor resistência à troca de cátions.

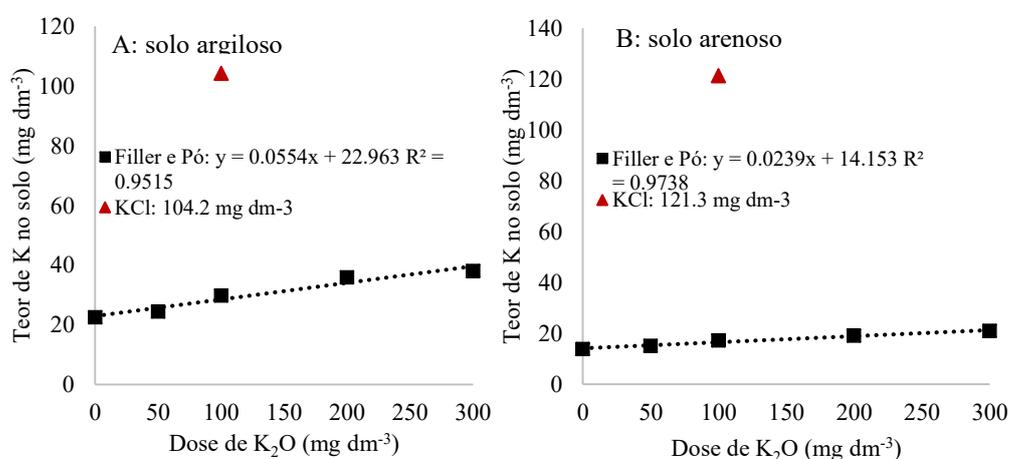


Figura 4. Teores de K no solo arenoso (4A) e argiloso (4B) extraídos por Mehlich em função da aplicação de doses crescentes de K₂O provenientes do kamafugito filler e pó e na dose equivalente de 100 mg dm⁻³ via KCl.

5.2. Fósforo no solo

A aplicação do kamafugito em ambas as granulometrias e solos e em todas as doses testadas não atingiu os mesmos níveis de P no solo obtidos pela aplicação do SFT, sendo os resultados dos tratamentos com o pó de rocha, são sempre inferiores ao padrão após 60 dias de incubação (Tabela 8).

Em relação à testemunha, no extrator Mehlich observou-se superioridade dos tratamentos apenas no solo arenoso, ou seja, para as aplicações de 190 e 285 mg dm⁻³ de P₂O₅ provenientes do filler e também da maior dose aplicada via pó, para os quais os teores de P no solo são, respectivamente, 6,4; 9,3 e 6,4 mg dm⁻³, enquanto que a testemunha apresentou apenas 0,5 mg dm⁻³ (Tabela 8). Para o extrator Resina as duas maiores doses de P₂O₅ foram as que superaram significativamente o teor de P no solo em relação a testemunha, porém para a aplicação do kamafugito em pó no solo arenoso, somente a dose de 285 mg dm⁻³ de P₂O₅ gerou esse resultado (Tabela 8). Os incrementos obtidos variam de 4,7 a 11,9 mg dm⁻³ de P no solo argiloso e de 7,8 a 12,3 mg dm⁻³ de P no solo arenoso (Tabela 8).

Tabela 8. Teor de P nos solos arenoso e argiloso, extraído por Mehlich e Resina, em função da aplicação de doses de P₂O₅ provenientes de diferentes fontes 60 dias após a aplicação.

----- P Mehlich -----						
Dose de P ₂ O ₅	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					
SFT (95 mg dm ⁻³)		48,5			62,5	
0		0,4			0,5	
48	0,4+	0,6+	0,5	1,8+	1,4+	1,6
95	0,5+	0,7+	0,6	2,4+	1,8+	2,1
190	0,7+	1,7+	1,2	6,4*+	4,5+	5,4
285	0,9+	2,3+	1,6	9,3*+	6,4*+	7,9
Média	0,6 a	1,3 a		5,0 a	3,5 a	
----- P Resina -----						
Dose de P ₂ O ₅	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					

Mehlich: Solo Argiloso: DMS_{Tukey}=1,1; DMS_{Dunnett}=3,0; CV(%)=26,0; Solo Arenoso: DMS_{Tukey}=1,9; DMS_{Dunnett}=5,4; CV(%)=27,3;
 Resina: Solo Argiloso: DMS_{Tukey}=1,6; DMS_{Dunnett}=4,4; CV(%)=18,9; Solo Arenoso: DMS_{Tukey}=1,9; DMS_{Dunnett}=5,4; CV(%)=19,3;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * e + diferem, respectivamente, da testemunha e do padrão (SFT), pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Nas comparações entre as formas granulométricas, filler e pó, não existem diferenças significativas nos resultados utilizando o extrator Mehlich-1, o qual apontou médias respectivas de 0,6 e 1,3 mg dm⁻³ de P no solo argiloso e 5,0 e 3,5 mg dm⁻³ de P no solo arenoso (Tabela 8). Enquanto nas análises com o extrator resina, o teor médio de P no solo onde recebeu a aplicação do kamafugito filler foi superior ao solo tratado com kamafugito pó, tanto para o solo argiloso quanto para o arenoso, onde os incrementos são de 2,4 e 2,2 mg dm⁻³ de P, respectivamente (Tabela 8).

O extrator Mehlich é um método de extração usando ácidos clorídrico e sulfúrico, isso pode influenciar nos resultados, pois o extrator pode solubilizar o P diretamente da fonte sem que o mesmo tenha sido disponibilizado ao solo. Observa-se o efeito do tipo de extração nos resultados, confirmando o que já é conhecido, que o Mehlich-1 não efetua boa extração de P em solos argilosos, o que é facilmente demonstrado nos resultados

quando se compara os valores obtidos entre os solos argiloso e arenoso. Já no extrator resina esses efeitos não são observados, então, pode-se considerar o efeito do extrator atuando sobre a fonte. Para o método Mehlich há uma exaustão da capacidade de extração com o aumento dos teores de argila e do grau de intemperização do solo (NOVAIS & SMYTH, 1999), ou seja, ocorre perda de força de extração do P em solos com alto teor de argila.

Assim como para K no solo, não há interação entre as fontes e as doses crescentes aplicadas, porém foi observado incremento no teor de P no solo à medida que se aumenta a quantidade de P₂O₅ fornecida via kamafugito (Figura 5), o que demonstra a eficácia do material em fornecer P para o solo. Pelo extrator Mehlich, esse incremento é 6 vezes superior no solo arenoso em relação ao solo argiloso, onde a aplicação de cada mg dm⁻³ de P₂O₅ proveniente do kamafugito aumenta em 0,005 mg dm⁻³ o teor de P no solo (Tabela 9). Essa diferença entre os solos é praticamente inexistente para o P Resina onde os incrementos médios são de 0,03 e 0,04 mg dm⁻³ para o solo argiloso e para o arenoso, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito do aumento da dose de P₂O₅ aplicada via kamafugito filler e pó (média das duas fontes) no teor de P nos solos arenoso e argiloso, extraído por Mehlich e Resina.

Solo	Equação	R ²
----- Mehlich -----		
Argiloso	$\hat{y} = 0,31 + 0,005^* x$	97,32 %
Arenoso	$\hat{y} = 0,21 + 0,03^* x$	98,58 %
----- Resina -----		
Argiloso	$\hat{y} = 0,29 + 0,03^* x$	98,28 %
Arenoso	$\hat{y} = 1,27 + 0,04^* x$	98,66 %

*, significativo a 5% de probabilidade

A investigação sobre o comportamento do kamafugito em cada um dos solos mostra que o produto deveria ser aplicado nas doses de 2076,3 mg dm⁻³ no solo arenoso e 9638,0 mg dm⁻³ de P₂O₅ no solo argiloso, isto é, doses 7 e 34 vezes superiores à maior dose aplicada, para que apresentassem resultado de P Mehlich semelhante ao do padrão SFT (Figuras 5A e 5B, respectivamente). Os resultados de P Resina indicam equivalência ao SFT para as doses de 2283,7 e 1975,8 mg dm⁻³ do kamafugito aplicado no solo argiloso (Figura 5C) e arenoso (Figura 5D), respectivamente. Nesse caso, as doses equivalentes variam de, aproximadamente 7 a 8 vezes a maior dose aplicada nos tratamentos.

Tal resultado já era esperado, uma vez que se trata de uma fonte de baixa solubilidade em água. Assim, um manejo para esse tipo de material seria a aplicação do

mesmo no campo em área total, em maiores quantidades, similar à prática de fosfatagem, para que, de maneira gradual, se consiga incrementar os teores de P no solo, aumentando o “estoque” desse nutriente ao longo do tempo.

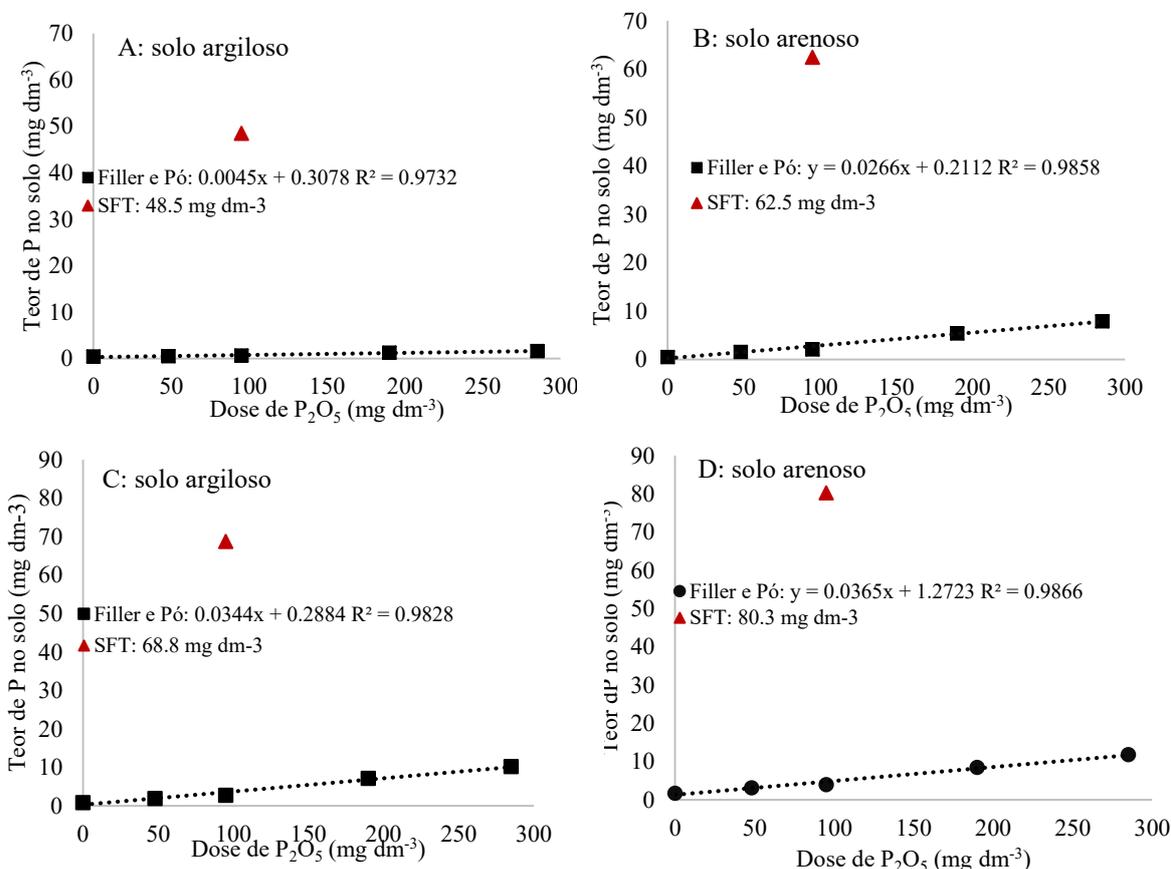


Figura 5. Teores de P extraídos por Mehlich-1 no solo arenoso (5A) e argiloso (5B) e extraídos por Resina trocadora de íons no solo argiloso (5C) e arenoso (5D) em função da aplicação de doses de P_2O_5 provenientes do kamafugito filler e pó.

A maior quantidade de kamafugito necessária para aumentar os teores de P (Mehlich e Resina) no solo argiloso em relação ao solo arenoso pode ser explicada devido a maior capacidade tampão do solo de textura argilosa em relação ao de textura arenosa, ou seja, a resistência em aumentar o teor de P é maior para o primeiro tipo de solo. Além disso, a taxa de fixação de P é elevada em solos de textura argilosa, tanto por precipitação quanto por adsorção através de compostos de Al, Fe e Ca (FURTINI NETO et al., 2001; VILLAS BÔAS et al., 2002).

5.3. Cálcio no solo

No solo argiloso, os teores de Ca no solo seguem uma tendência de aumento em resposta ao aumento da dose aplicada, isto é, para as duas formas do kamafugito, a dose de 41 mg dm⁻³ de Ca resulta em valores inferiores ao padrão (1,3 cmol_c dm⁻³) e sem diferença da testemunha (0,6 cmol_c dm⁻³) (Tabela 10), já as doses acima (83 e 165 mg dm⁻³ de Ca) fazem com que os teores de Ca no solo fiquem compreendidos entre os resultados da testemunha e do padrão CaCO₃ (Tabela 10) enquanto a maior dose (248 mg dm⁻³) resulta de teores de Ca no solo superiores ao da testemunha e sem diferença do CaCO₃ (Tabela 10). Para esse mesmo solo, o teor médio de Ca no solo em resposta à aplicação do produto filler é superior à da forma pó (Tabela 10).

No solo arenoso, somente as duas menores doses do filler, mas todas aquelas aplicadas via pó, são inferiores ao carbonato de cálcio cujo resultado foi de 1,2 cmol_c dm⁻³ de Ca (Tabela 10). Já em comparação com a testemunha, cujo teor de Ca no solo foi de 0,6 cmol_c dm⁻³, exceto a menor dose do filler e somente as duas maiores doses do pó a superam (Tabela 10).

Ainda para o solo arenoso, na comparação entre as formas do kamafugito, na menor dose (41 mg dm⁻³ de Ca) o comportamento é semelhante, porém para todas as demais o filler supera o pó com incrementos crescentes em resposta ao aumento da dose aplicada (Tabela 10).

Tabela 10. Teor de Ca nos solos arenoso e argiloso, em função da aplicação de doses de Ca provenientes do kamafugito filler ou pó ou do corretivo CaCO₃.

----- Ca no solo -----						
Dose de Ca	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	-----			cmol _c dm ⁻³	-----	
CaCO ₃ (83 mg dm ⁻³ Ca)		1,3			1,2	
0		0,6			0,6	
41	0,7+	0,7+	0,7	0,7 a+	0,6 a+	0,7
83	0,9*+	0,8*+	0,8	0,8 a*+	0,7 b+	0,8
165	1,1*+	0,9*+	1,0	1,1 a*	0,8 b*+	1,0
248	1,4*	1,2*	1,3	1,4 a*	0,9 b*+	1,1
Média	1,0 a	0,9 b		1,0	0,8	

Solo Argiloso: DMS_{Tukey} = 0,1; DMS_{Dunnnett} = 0,2; CV(%) = 8,7;

Solo Arenoso: DMS_{Tukey} = 0,1; DMS_{Dunnnett} = 0,2; CV(%) = 10,6;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * e + diferem, respectivamente, da testemunha e do padrão (CaCO₃), pelo teste de Dunnnett a 0,05 de significância.

A aplicação de doses crescentes de Ca proveniente do kamafugito filler e pó resultam em aumento do teor no solo, o qual segue comportamento linear e semelhante

tanto para as granulometrias testadas quanto para os solos que receberam a aplicação, variando de 0,002 a 0,003 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca no solo para cada mg dm^{-3} de Ca fornecida (Tabela 11). A presença de cálcio no kamafugito está relacionada aos minerais calcita, perovskita, apatita e melilita.

Tabela 11. Efeito do aumento da dose de Ca aplicada via kamafugito filler e pó (média das duas granulometrias) no teor de Ca nos solos arenoso e argiloso.

Solo	Equação	R ²
Argiloso	$\hat{y} = 0,58 + 0,003^*x$	99,04 %
Arenoso	$\hat{y} = 0,62 + 0,002^*x$	98,22 %

*, significativo a 5% de probabilidade

Doses de 240 mg dm^{-3} e 290 mg dm^{-3} de Ca oriundo do kamafugito aplicado no solo argiloso e arenoso, respectivamente, são suficientes para que os resultados atinjam o mesmo patamar alcançado pelo carbonato de cálcio (Figura 6A e 6B).

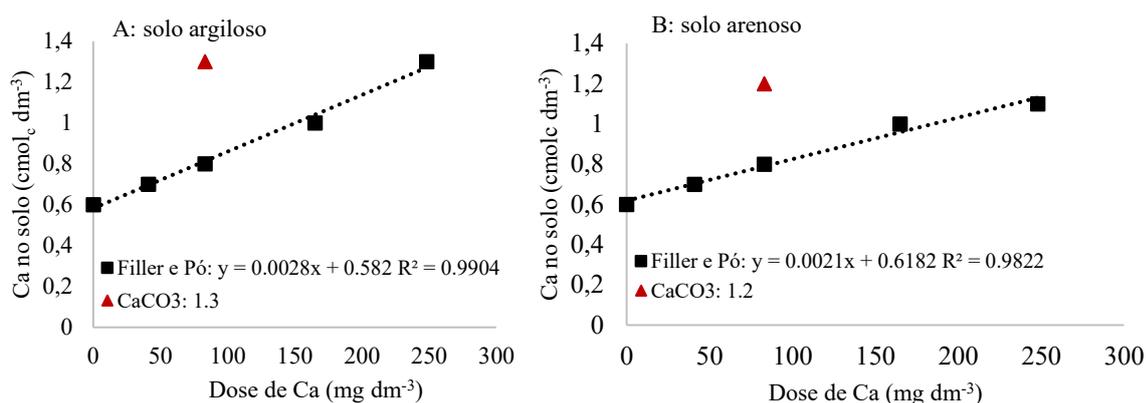


Figura 6. Teor de Ca no solo arenoso (A) e argiloso (B) em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó, em comparação com a aplicação de CaCO₃.

5.4. Magnésio no solo

Os teores de Mg no solo se mostraram superiores ao da testemunha para a maioria dos tratamentos, comportamento que se repete em ambos os solos (Tabela 12) gerando incrementos que variam de 0,5 a 1,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo argiloso e de 0,6 a 1,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo arenoso (Tabela 12).

Tabela 12. Teor de Mg nos solos arenoso e argiloso, em função da aplicação de doses de Mg provenientes do kamafugito filler e pó.

----- Mg no solo -----						
Dose de Mg mg dm ⁻³	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
	----- cmol _c dm ⁻³ -----					
0		0,2			0,2	
31	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
63	0,5	0,7*	0,6	0,8*	0,6	0,7
125	1,1*	1,0*	1,0	1,4*	0,9*	1,2
188	1,3*	1,3*	1,3	1,9*	1,3*	1,6
Média	0,8 a	0,9 a		1,1 a	0,8 b	

Solo Argiloso: DMS_{Tukey} = 0,1; DMS_{Dunnett} = 0,4; CV(%) = 26,9;

Solo Arenoso: DMS_{Tukey} = 0,2; DMS_{Dunnett} = 0,5; CV(%) = 31,9;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Na comparação entre as granulometrias, não foi observada diferença entre o filler e o pó no solo argiloso, onde as médias são 0,8 e 0,9 cmol_c dm⁻³, respectivamente, porém no solo arenoso o teor médio de Mg no solo quando se aplica o produto na forma filler é 0,3 cmol_c dm⁻³ superior ao da forma pó (Tabela 12). Tal diferença pode ser devido a menor granulometria das partículas do produto na forma filler, conseqüentemente maior superfície específica e maior reatividade no solo.

Assim como observado para as demais variáveis e de modo bastante similar ao Ca no solo, a aplicação de doses crescentes de Mg proveniente do kamafugito, em ambas as granulometrias, resulta em aumento do seu teor no solo, aumento esse linear e similar entre as formas pó e filler e os solos argiloso e arenoso (Figura 7). Os referidos aumentos são de 0,006 e 0,008 cmol_c dm⁻³ de Mg nos solos argiloso e arenoso, respectivamente, para cada mg dm⁻³ de Mg fornecida (Tabela 13).

Tabela 13. Efeito do aumento da dose de Mg aplicada via Kamafugito Filler e Pó (média das duas fontes) no teor de Mg nos solos arenoso e argiloso.

Solo	Equação	R ²
Argiloso	$\hat{y} = 0,22 + 0,006^*x$	99,61 %
Arenoso	$\hat{y} = 0,20 + 0,008^*x$	99,62 %

*, significativo a 5% de probabilidade

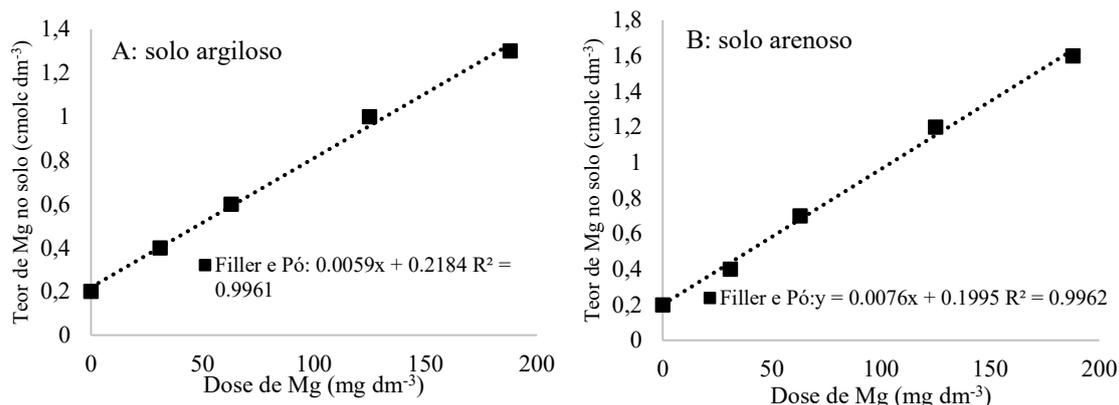


Figura 7. Teor de Mg no solo arenoso (A) e argiloso (B) em função da aplicação de doses do kamafugito, filler e pó.

5.5. pH do solo

O pH do solo está sempre em valores intermediários ao da testemunha e do padrão CaCO₃, valores esses que são, respectivamente, 3,5 e 5,1 no solo argiloso e 3,6 e 5,3 no solo arenoso (Tabela 14). A exceção à esse resultado é a menor dose do produto filler no solo arenoso, cujo resultado 3,7 é inferior ao do padrão porém não supera a testemunha (Tabela 14).

Tabela 14. Valores de pH nos solos arenoso e argiloso em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó e do corretivo CaCO₃.

----- pH CaCl ₂ -----						
Dose Kamafugito mg dm ⁻³	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
CaCO ₃ (83 mg dm ⁻³ Ca)		5,1			5,3	
0		3,5			3,6	
1250	3,7*+	3,7*+	3,7	3,7+	3,7*+	3,7
2500	3,8*+	3,8*+	3,8	3,9*+	3,9*+	3,9
5000	4,3*+	4,3*+	4,3	4,1*+	4,1*+	4,1
7500	4,6*+	4,6*+	4,6	4,3*+	4,3*+	4,3
Média	4,1 a	4,1 a		4,0 a	4,0 a	

Solo Argiloso: $DMS_{Tukey} = 0,03$; $DMS_{Dunnnett} = 0,1$; $CV(\%) = 1,1$;

Solo Arenoso: $DMS_{Tukey} = 0,1$; $DMS_{Dunnnett} = 0,1$; $CV(\%) = 1,4$;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * e + diferem, respectivamente, da testemunha e do padrão (CaCO₃), pelo teste de Dunnnett a 0,05 de significância.

Em ambos os solos o comportamento das duas formas do kamafugito é semelhante, sendo 4,1 o pH médio do solo argiloso e 4,0 o do solo arenoso (Tabela 14).

O aumento da dose do kamafugito, independente da sua forma (filler ou pó) aumenta o pH do solo, aumento esse de 0,2 e 0,1 para cada g dm^{-3} de kamafugito, aplicado no solo argiloso e arenoso, respectivamente (Tabela 15 e Figura 8).

Tabela 15. Efeito do aumento da de kamafugito filler e pó (média das duas granulometrias) no pH (CaCl_2) dos solos arenoso e argiloso.

Solo	Equação	R ²
Argiloso	$\hat{y} = 3,49^* + 0,0002^*x$	98,96 %
Arenoso	$\hat{y} = 3,61^* + 0,00009^*x$	98,66 %

*, significativo a 5% de probabilidade

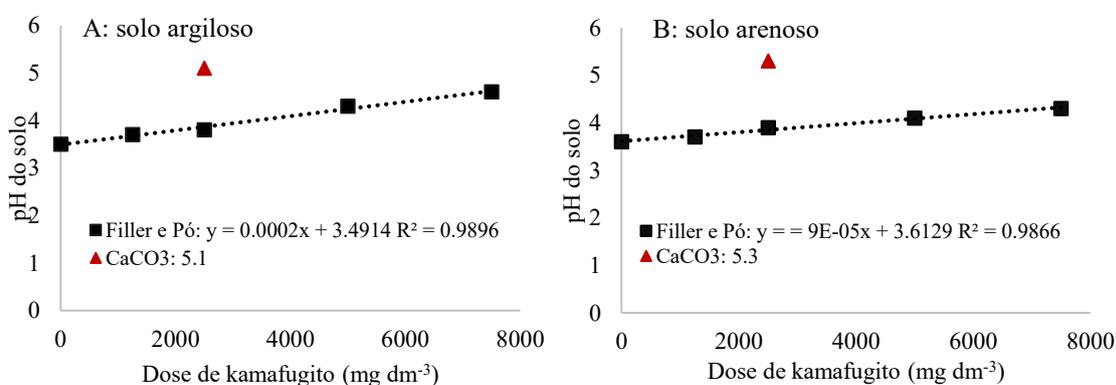


Figura 8. pH em CaCl_2 do solo arenoso (A) e argiloso (B) em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó em comparação com a aplicação de CaCO_3 .

6. CONCLUSÕES

O kamafugito se mostrou eficaz em aumentar o teor de K, P, Ca e Mg no solo, principalmente para as maiores doses aplicadas, porém, ainda abaixo da eficácia das fontes solúveis.

A aplicação de doses crescentes de K_2O , P_2O_5 , Ca e Mg provenientes do kamafugito no solo, independente da granulometria, resultou em aumento linear na disponibilidade de K, P, Ca e Mg no solo.

De maneira geral, a granulometria mais fina do produto (filler) foi mais eficiente em incrementar os teores dos nutrientes no solo em relação à forma pó.

REFERÊNCIAS

- AARNIO, T.; MARTIKAINEN, P.; RÄTY, M. Long-term availability of nutrients in forest soil derived from fast-and slow-release fertilizers. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 252, n. 2, p. 227-239, 2003. DOI <https://doi.org/10.1023/A:1024765211123>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024765211123#citeas>. Acesso em: 24 jan. 2021.
- CASTRO, C. de; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, F. A. de; SALINET, L. H.; VERONESI, C. de O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Revista Espaço & Geografia**, [s. l.] v.9, n. 2, 2006, p. 179-193. ISSN: 1516-9375. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/54/5>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1).
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009. ISBN 978-85-7383-430-7.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR**: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium, Lavras, v.6, 2008. p.36-41.
- FURTINI, NETO, A.E; VALE, F.R; RESENDE, A.V; GUILHERME, L.R.G; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Lavras: ESAL/FAEPE. 2001. 252p.
- LOBO, V. **O mercado e o desafio da industria de fertilizantes no brasil**. Brasil: Bunge Fertilizantes, 2008. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00001762.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- LUZ A. B.; FRANCISCO E. LOUREIRO L., SAMPAIO A. J., CASTILHOS Z. C., BEZERRA M. S. **Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos agrominerais para o brasil**. Centro De Tecnologia Mineral Rio de Janeiro. Cap. IV p. 61 – 88, 2010.
- MARTINS E. S., SILVEIRA C. A. P., BAMBERG A. L., MARTINAZZO R., BERGMANN M., ANGÉLICA R. S., **Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture**. 16th World Fertilizer Congress of CIEC. p. 138 – 140, 2014.
- MARTINS, E. S., OLIVEIRA, C. G., RESENDE, A. V., MATOS, M. S. F. **Agro minerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura**. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, 2008. p.205-221.
- MELO, M. G. de. **A origem do fosfato nas rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do grupo mata da corda nas regiões de Patos de Minas e Presidente Olegário, MG**. 2012. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de

Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2875>. Acesso em: 24 dez. 2020.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, 66 p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

STEEN, I. Management of a non-renewable resource. **Journal: Phosphorus & Potassium**, n. 217, 1998. p. 25-31.

STRAATEN, P. van **Agrogeology: the use of rock for crops**. Ontario: Enviroquest, 2007.

STRAATEN, P.V. **Rocks for crops: agrominerals of sub-Saharan Africa**. Nairobi, Kenya: ICRAF, 2002.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. *In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE*, 7, 2009, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

THEODORO *et al.* Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. *In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM*, 2, 2013, Poços de Caldas (MG). **Anais [...]**. 2013. p. 32.

THEODORO, Suzi de Córdova Huff. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2000.

THEODORO, S.H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas** v. 10 - n. 1, 2013.

VILLAS BÔAS, R.L.; ZANINI, J.R.; DUENHAS, L.H. Uso e manejo de fertilizantes em fertirrigação. *In: ZANINI, J.R.; VILLAS BÔAS, R.L.; FEITOSA FILHO, J. C. Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia*. Jaboticabal: FUNEP. 2002. p.1-25.

CAPÍTULO 3 - Movimentação do K no perfil do solo quando proveniente do kamafugito

RESUMO

FERREIRA, BÁRBARA. Movimentação do K no perfil do solo quando proveniente do kamafugito

As perdas de potássio no solo, por percolação ou lixiviação, podem ser reduzidas com o emprego de fontes menos solúveis. Além disso, a alta dependência do Brasil por fertilizantes potássicos amplia a necessidade de se buscar fontes alternativas do nutriente. O kamafugito possui natureza ultrapotássica que está diretamente relacionada à presença de minerais ricos nesse elemento, tais como flogopita, leucita e kalsilita. Objetivou-se avaliar as perdas por lixiviação do potássio proveniente do cloreto de potássio (KCl) granulado, do nitrato de potássio farelado e do kamafugito aplicado em duas granulometrias, filler e pó. Para isso, dois experimentos foram realizados, um com um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e outro com um Neossolo Quartzarênico órtico (NQo). Em ambos o delineamento utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial com quatro fontes (testemunha, KCl, nitrato de potássio, kamafugito filler e pó). A parcela experimental foi composta por uma coluna de lixiviação de 70cm de altura e 20cm de diâmetro, dividida em 6 anéis superiores de 5cm de altura e 5 anéis inferiores de 10cm de altura. Os fertilizantes potássicos foram aplicados à dose de 3000 kg ha⁻¹ de K₂O, na parte superior dos lisímetros, em todos os tratamentos. As colunas foram irrigadas por aproximadamente 18 dias, com quantidade de água equivalente a uma chuva de 1800 mm durante esse período. O líquido lixiviado na base da coluna era recolhido diariamente e armazenada. Ao final do experimento, foram determinados os teores de potássio no lixiviado e o teor de K no solo em cada anel da coluna, até a profundidade de 70 cm. O uso do kamafugito nas granulometrias pó ou filler disponibilizou mais potássio na primeira camada de solo (0-5 cm). As fontes mais solúveis como o KCl, e KNO₃ proporcionaram maior lixiviação do potássio em relação ao kamafugito filler e pó até a última camada dos lisímetros (70 cm). Apenas para o solo arenoso, o kamafugito filler disponibilizou mais potássio na primeira camada de solo (0-5 cm) do que o pó, para a extração feita com resina trocadora de íons. O potássio proveniente do kamafugito foi menos suscetível às perdas por lixiviação.

Palavras-chave: lixiviação de K, fertilizante potássico, remineralizador de solo, pó de rocha.

ABSTRACT

FERREIRA, BÁRBARA. **Movement of K from kamafugite in the soil profile.**

Potassium losses in the soil, through percolation or leaching, can be reduced with the use of less soluble sources. In addition, Brazil's high dependence on potassium fertilizers increases the need to seek alternative sources of the nutrient. The kamafugite is considered an ultrapotassic rock and this characteristic is directly related to the presence of minerals rich in this element, such as phlogopite, leucite and kalsilite. The objective was to evaluate the losses by leaching of potassium from granulated potassium chloride (KCl), potassium nitrate powder and kamafugite applied in two granulometries, filler and powder. For this, two experiments were carried out, one with a dystrophic Red Latosol (LVd) and another with an orthotic Quartzarenic Neosol (NQo). In both, the design used was randomized blocks, with four replications, in a factorial scheme with four sources (granulated KCl, powdered potassium nitrate, kamafugite filler and powder and the control treatment). The experimental plot consisted of a leaching column 70 cm high and 20 cm in diameter, divided into 6 rings 5 cm high and 5 rings 10 cm high. Potassium fertilizers were applied at a dose of 3000 kg ha⁻¹ of K₂O, in the upper part of the lysimeters, in all treatments. The columns were irrigated for approximately 18 days, with an amount of water equivalent to 1800 mm of rain. The soil solution was collected daily and stored in 50 L gallons. At the end of the experiment, the potassium content in the leachate and the K content in the ring soil of the column were determined, up to a depth of 70 cm. The use of kamafugite in powder or filler granulometry provided more potassium in the first layer of soil (0-5 cm). The most soluble sources such as KCl and KNO₃ provided greater potassium leaching compared to filler kamafugite and powder until the last layer of the lysimeters (70 cm). Only for the sandy soil, the filler kamafugite provided more potassium in the first layer of soil (0-5 cm) than the powder, for the extraction made with ion exchange resin. Potassium from kamafugite was less susceptible to leaching losses.

Keywords: leaching of K, potassium fertilizer, soil remineralizer, rock dust.

7. INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo juntamente com aspectos de nutrição e adubação são fatores importantes para a construção e manutenção de um sistema de produção agrícola eficiente, principalmente nos solos brasileiros que são, em sua maioria, caracterizados como ácidos e pobres em nutrientes essenciais as plantas, como o potássio (COELHO, 2006; IBRAM, 2012).

O potássio (K) é utilizado como fertilizante desde o século III a.C, através da utilização de cinzas e também de restos vegetais (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004). Este macronutriente pode ser encontrado no solo em diferentes formas e em quantidades significativas, entretanto, sua forma trocável é encontrada normalmente em baixos níveis (NASCIMENTO et al., 2008).

Na solução do solo, o K é facilmente movimentado e percolado para as camadas subsuperficiais do solo provocando perdas pelo processo de lixiviação que pode ter maior ou menor intensidade de acordo com o fertilizante empregado, dose aplicada, volume de água, textura do solo, capacidade de troca cátions (CTC) e também das concentrações de potássio presente na solução do solo (CIOTTA et al., 2002; NOVAIS et al., 2007; ROSOLEM et al., 2006; SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985).

O cloreto de potássio (KCl) é um sal de alta solubilidade em água e representa um dos fertilizantes minerais mais utilizados para suprir a necessidade deste nutriente em solos pobres devido a alta concentração de K_2O que possui e também ao seu custo de produção que é considerado bom em relação a outras fontes. Entretanto, suas características de solubilidade associada com a aplicação em solos de baixa CTC intensificam os processos de lixiviação do potássio nesses solos (KINPARA, 2003).

A produção de fertilizantes fontes de potássio ocorre a partir de minerais potássicos que são extraídos de jazidas. Dentre os poucos países que contêm jazidas de interesse econômico, encontra-se o Canadá que possui as maiores reservas a nível mundial, retendo cerca de 46% do total (IBRAM, 2012), enquanto que o Brasil possui reservas pequenas que o limita de forma que o país consegue suprir apenas 9% da sua demanda interna.

Essa restrição de fontes de potássio leva o Brasil a dependência de fertilizantes potássicos a níveis elevados (> 90%) e também amplia a necessidade de se buscar fontes alternativas que sejam abundantes, eficientes e capazes de contribuir no atendimento da demanda nacional e também que amenize as perdas por lixiviação comuns nas fontes

convencionais. Uma das alternativas com potencial de trazer respostas a essas necessidades é a utilização de remineralizadores, que são insumos formados por rochas moídas.

De acordo com a Lei 12.890/2013, os remineralizadores são materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos, alterem os índices de fertilidade do solo por meio da adição de nutrientes essenciais para as plantas e que também promovam melhorias nas propriedades físicas e biológicas do solo. Além disso, os remineralizadores são caracterizados por apresentarem solubilidade menor que os fertilizantes solúveis tradicionais e também podem ter efeito residual no solo (EMBRAPA, 2016).

Os kamafugitos são rochas ígneas insaturadas em Si, de afinidade ultrapotássica, ricas em potássio. A origem do potássio nessas rochas está diretamente relacionada à presença de minerais ricos nesse elemento, tais como flogopita, leucita e kalsilita. Ademais alguns argilominerais presentes, produto de alteração de minerais primários, também apresentam potássio em sua estrutura química. Trabalhos como de Martins et al. (2008), Nascimento et al. (2008), Luz et al. (2010), Martins et al. (2014), destacaram o potencial das rochas ultrapotássicas como fontes alternativas de K para a agricultura em substituição às fontes convencionais (KCl).

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica do potássio no perfil do solo e as perdas por lixiviação do potássio proveniente do cloreto de potássio granulado, nitrato de potássio e do kamafugito em duas granulometrias (filler e pó) aplicados em dois tipos de solo (arenoso e argiloso).

8. MATERIAL E MÉTODOS

8.1. Caracterização das Fontes de Potássio

Para este estudo foram utilizadas quatro fontes de potássio, o cloreto de potássio granulado (KCl) e o nitrato de potássio (KNO_3) em pó, e também o kamafugito nas granulometrias pó e filler, além da testemunha, sem aplicação de K. Amostras do minério (kamafugito) foram submetidas à extração com ácidos inorgânicos e orgânicos com a finalidade de estimar a disponibilidade de nutrientes e outros elementos químicos, sendo os resultados apresentados na tabela a seguir (tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química das fontes testadas.

Fonte	K ₂ O		P ₂ O ₅		CaO	MgO
	Total*	Solúvel**	Total*	Solúvel**		
	----- %-----					
KCl	60	58	--	--	--	--
KNO ₃	45	43	--	--	--	--
Kamafugito (filler)	4,0	1,7	3,8	1,9	4,1	4,3
Kamafugito (pó)	4,0	1,7	3,8	1,9	4,1	4,3

* Fósforo e potássio total extraído em ácido sulfúrico, fluorídrico, nítrico e perclórico,

** Fósforo e potássio solúvel em ácido cítrico 2%,

8.2. Condução dos experimentos

Dois experimentos foram realizados, em épocas diferentes, porém com o mesmo objetivo de avaliar as perdas do potássio por lixiviação, o primeiro com um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (RQo) e o segundo com um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd). Ambos foram instalados na casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em um delineamento de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. A caracterização dos dois tipos de solo se encontra nas tabelas abaixo (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Caracterização química das amostras do Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e do Latossolo Vermelho distrófico (LVd), utilizados nos experimentos.

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); EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al.

Tabela 4. Análise física dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solo	Areia	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----		
LVd	546	54	400
RQo	822	68	110

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

A parcela experimental foi composta por uma coluna de lixiviação de 80cm de altura e 20cm de diâmetro, dividida em 6 anéis superiores com 5cm de altura e 5 anéis inferiores com 10cm de altura, que foram acoplados um no outro com auxílio de uma fita

adesiva. Essa fita foi passada em cada junção do anel para evitar o escoamento de água pelas paredes da coluna. Na parte inferior de cada coluna, foi adaptada uma tela de aço e uma manta acrílica, para evitar a perda de solo, e um funil de aço galvanizado e uma garrafa "PET", para fazer a coleta do lixiviado (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Coluna de lixiviação



Figura 2. Garrafas "PET" para a coleta da solução do solo (lixiviado).

Os lisímetros foram preenchidos com as amostras de solo que foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm de diâmetro (TFSA). As fontes de potássio foram aplicadas na dose equivalente a 3000 kg ha^{-1} de K_2O na parte superior da coluna de lixiviação a lanço em área total da superfície da coluna. A quantidade de cada fonte adicionada em cada lisímetro foi calculada com base nos teores totais de K_2O de cada fonte de potássio (Tabela 5).

Tabela 5. Dose de 3000 kg ha⁻¹ K₂O das diferentes fontes de potássio adicionadas e incorporadas superficialmente no primeiro anel da coluna de lixiviação com solo de textura arenosa e argilosa.

Fontes	Teor de K ₂ O	Dose de	Dose da	Dose da
	Total	K ₂ O	fonte	Fonte
	%	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	--g /coluna*--
Testemunha	0	0	0	0
KCl granulado	60,0	3000	5000	15,70
Nitrato de Potássio	43,0	3000	6997	21,91
Kamafugito (pó)	4,0	3000	75000	235,5
Kamafugito (filler)	4,0	3000	75000	235,50

*Calculado com base na área da circunferência ($\pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,10^2 = 0,0314 \text{m}^2$).

As amostras de solo, depois de acondicionadas nas colunas, foram umedecidas até atingirem a capacidade de campo. Em relação ao solo arenoso, durante 18 dias, uma irrigação equivalente a uma chuva de 99,4 mm diária (3,17 L/0,0314 m²), passou pelos lisímetros, totalizando 1789 mm durante todo o experimento. Diariamente, foram adicionados em cada coluna, cuja área é de 0,0314 m², 3000 mL de água com auxílio de sistema de irrigação por aspersão.

Para o solo argiloso, durante 19 dias, uma irrigação equivalente a uma chuva de 95,5 mm diária (3 L/0,0314 m²), passou pelos lisímetros, totalizando 1815 mm durante todo o experimento. Diariamente, foram adicionados em cada coluna, cuja área é de 0,0314 m², 3000 mL de água manualmente com auxílio de um becker. Para cada parcela havia um galão de 50 L onde foi armazenada a solução do solo que percolou das colunas. Diariamente o lixiviado foi retirado das garrafas “PET” e armazenado nos galões de 50L.

8.3. Avaliações do experimento

Ao final de ambos os experimentos, procedeu-se à leitura do potássio presente no lixiviado e em cada anel da coluna. A quantidade de potássio (K⁺) lixiviada foi calculada com base no volume de líquido lixiviado multiplicado pelo teor de potássio na solução analisada. Os lisímetros foram desmontados, separando-se as amostras de solo de cada anel, que foram secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro para posterior determinação do teor de potássio disponível no solo com os extratores Resina e Mehlich, segundo metodologia de Rajj et al. (2001).

8.4. Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos a análises de variância utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Quando o Teste F foi significativo (< 0,05%), as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 0,05 de significância.

O teor de potássio do lixiviado foi quantificada para cada uma das quatro fontes de potássio (KCl, nitrato de amônio, kamafugito em pó, kamafugito filler) mais a testemunha.

O teor de potássio presente no solo de cada anel da coluna foi analisado estatisticamente como parcela subdividida, ou seja, as 10 camadas de solo analisadas de cada coluna (parcela) consistiram nas 10 subparcelas. Foi feita a análise em esquema fatorial 6 x 10 sendo o primeiro fator as cinco fontes de potássio, incluindo a testemunha, e o segundo fator, as camadas de solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70 cm).

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

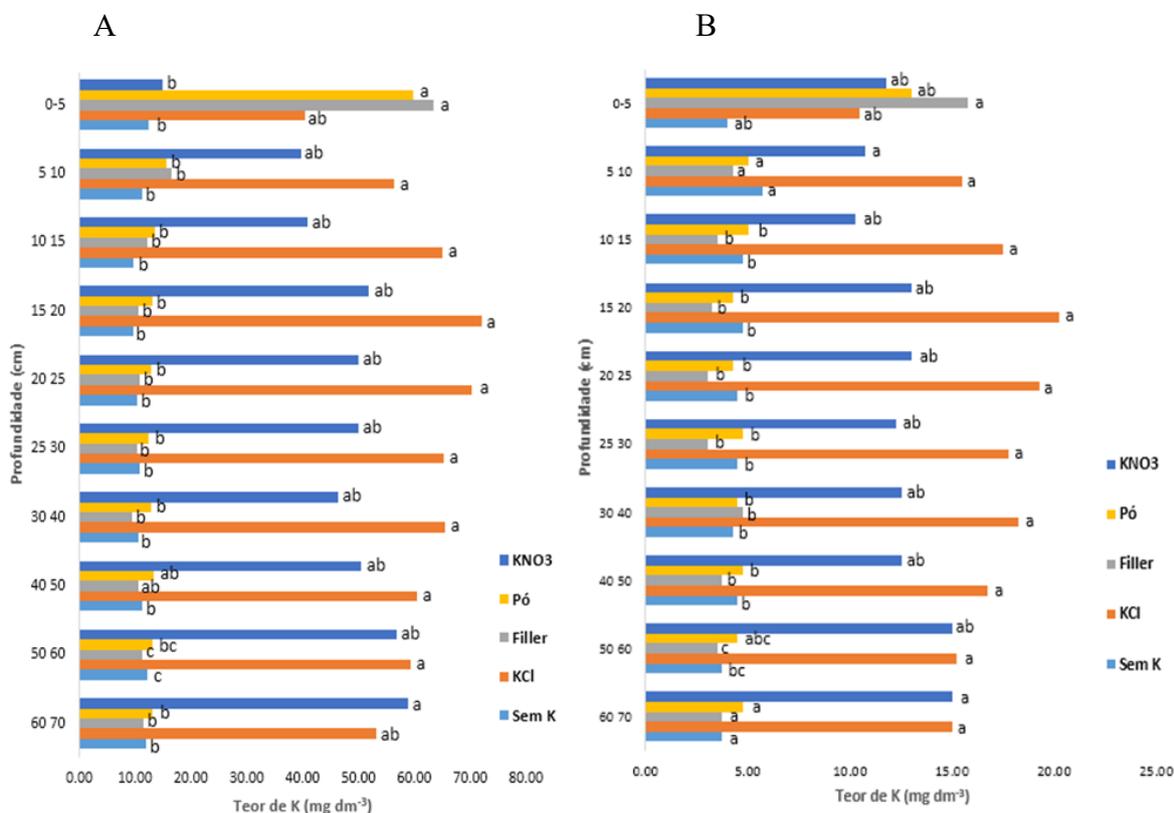
9.1. Solo arenoso (RQo)

9.1.2. Teor de K no solo

Com a aplicação de KCl e KNO₃ foi evidenciado que o K proveniente dessas fontes se movimentou ao longo do lisímetro atingindo todas as camadas da coluna e em altas quantidades comparado com as demais fontes (Figura 3), o que era esperado uma vez que o KCl e o KNO₃ são fontes de potássio solúveis em água. Observou-se ainda que a camada mais superficial (0-5 cm) apresentou menor quantidade de K no solo extraído pelo extrator Mehlich-1 quando os fertilizantes usados foram KCl e do KNO₃, enquanto que para o kamafugito Pó ou Filler, as quantidades de potássio foram maiores demonstrando que o processo de lixiviação foi menor nessas duas últimas fontes (Figura 3A).

O mesmo comportamento é observado para os teores de K no solo extraídos com uso de resina trocadora de íons, pois na primeira camada da coluna (0-5cm) o teor de K das fontes solúveis foi menor em relação ao kamafugito filler e a partir dos 10 cm de profundidade os valores de K passam a ser maiores para o KCl e KNO₃, demonstrando seu maior deslocamento ao longo do perfil (até 50-60 cm) comparado com as outras fontes (Figura 3B). Em relação às formas do kamafugito filler e pó, observou-se nos

teores de K extraído com resina trocadora de íons, maior incremento proporcionado pelo filler em relação ao pó (Figura 3), demonstrando que a menor superfície específica nessa forma pode ter contribuído para sua maior reação no solo.



*Médias seguidas de letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Figura 3. Teores de K no solo extraídos por Mehlich-1 (mg dm^{-3}) (3A) e resina trocadora de íons (3B) em função da aplicação de diferentes fontes de K_2O e profundidades da coluna de lixiviação.

9.1.3. Teor de K no lixiviado

O K lixiviado proveniente do cloreto de potássio e do nitrato de potássio foi significativamente maior do que o proveniente do kamafugito filler e pó (Tabela 6). Além disso, não foi observada diferença entre o potássio lixiviado no tratamento testemunha e do kamafugito (Tabela 6).

Tabela 6. Concentração de potássio analisada no líquido lixiviado em lisímetros após irrigação com 1789 mm em solo arenoso para diferentes fontes de potássio aplicadas superficialmente.

Fontes de Potássio	K lixiviado (g coluna ⁻¹)	K perdido (%) **
Testemunha	0,03 b	---
Kamafugitol pó	0,09 b	0,8
Kamafugito filler	0,08 b	0,6
Cloreto de potássio (KCl)	1,57 a	19,7
Nitrato de Potássio (KNO ₃)	1,58 a	19,9

CV (%) = 25,8; DMS = 0,71.

*Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

**Valores representam a porcentagem do K aplicado proveniente da fonte que foi perdido por lixiviação e calculado segundo a seguinte equação: % K perdido por lixiviação = [(K lixiviado da fonte (g) – K lixiviado da testemunha (g)) / K total aplicado na adubação (g)] x 100.

A porcentagem de potássio total recolhida na coluna de lixiviação proveniente do kamafugito filler e pó foi em média 0,7% enquanto que do KCl e KNO₃ foi de 19,7 e 19,9%, respectivamente, assim a perda de potássio por lixiviação proveniente dessas fontes foi aproximadamente 28,3 vezes maior do que quando se aplicou o kamafugito (Tabela 6). Estudos demonstram que a utilização de fontes alternativas de potássio oriundo de rochas pode reduzir a perda do nutriente por lixiviação quando comparado a fonte solúveis como KCl e KNO₃ (GABOS et al, 2006).

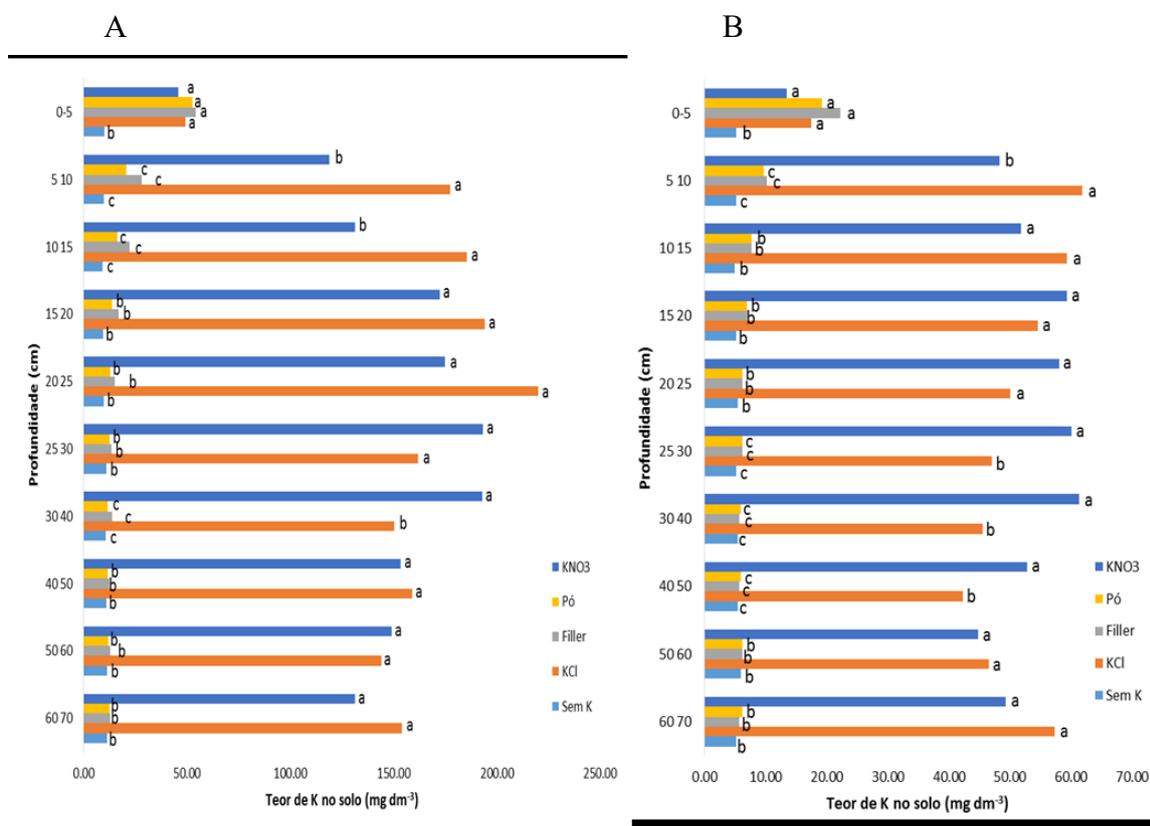
9.2. Solo argiloso (LVd)

9.2.1. Teor de K no solo

Observou-se que, com a aplicação de KCl e KNO₃, o potássio proveniente dessas fontes se movimentou ao longo do lisímetro atingindo todas as camadas da coluna e em altas quantidades comparado com as demais fontes (Figura 4), o que era esperado uma vez que o KCl e o KNO₃ são fontes de potássio solúveis em água.

Todas as fontes na camada mais superficial (0-5 cm) apresentaram quantidade semelhante de K no solo extraído pela solução Mehlich-1, porém à medida que se aprofunda na coluna, o KCl e o KNO₃ aumentaram a quantidade de K no solo, enquanto que para as fontes kamafugito pó e filler, as quantidades de potássio foram menores demonstrando que o processo de lixiviação foi menor (Figura 4). Em relação às formas do kamafugito filler e pó, não houve diferença estatística quanto aos teores de potássio

extraído tanto com resina trocadora de íons quanto com a solução extratora Mehlich -1 (Figura 4).



*Médias seguidas de letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Figura 4. Teores de K no solo extraído pela solução Mehlich 1 (4A) e resina trocadora de íons (4B) em função da aplicação de diferentes fontes de K₂O e profundidades da coluna de lixiviação.

De acordo com Duarte et al. (2013), o cloreto de potássio possui alta solubilidade em água (58%) fazendo com que o nutriente se perca facilmente. Além disso, o uso de altas doses ocasiona aumento da salinidade na região da rizosfera e dificulta a absorção de água e nutrientes pelas raízes (MARTINS, 2014).

Além do cloreto de potássio, outra fonte do nutriente é o nitrato de potássio. O íon nitrato possui carga negativa, não sendo adsorvido em grandes quantidades no solo, sendo predominantemente repelido pelas cargas negativas presentes na superfície das frações sólidas do solo. Por essa razão, move-se mais livremente com a água no solo, sendo facilmente lixiviado através do perfil. Logo, a busca por fontes alternativas que possam controlar esses processos, é de suma importância.

Assim como o presente trabalho, Duarte et al. (2013) constataram que uma fonte de potássio proveniente de rochas silicática (verdete) em teste de lixiviação promoveu enriquecimento nos teores de potássio na camada superficial do solo enquanto que o KCl obteve maior movimentação ao longo do perfil das colunas.

O potássio na solução do solo tende a movimentar-se verticalmente atingindo camadas que não seriam ocupadas pelas raízes em condições de campo. Um dos fatores que influencia as perdas por lixiviação é a fonte utilizada. Duarte (2012) constatou que a presença de potássio trocável nas camadas superficiais do solo, quanto no nutriente era proveniente de fontes alternativas menos solúveis (termopotássio) foi maior comparado ao cloreto de potássio.

9.2.2. Teor de K no lixiviado

Para ambos os tipos de solo, o K lixiviado proveniente do cloreto de potássio e do nitrato de potássio foi significativamente maior do que o proveniente do kamafugito filler e pó (Tabela 7). Além disso, não foi observada diferença entre o potássio lixiviado no tratamento testemunha e do kamafugito (Tabela 7).

Tabela 7. Concentração de potássio analiada no líquido lixiviado em lisímetros após irrigação com 1816 mm em solo argiloso para diferentes fontes de potássio aplicadas superficialmente.

Fontes de Potássio	K lixiviado (g coluna ⁻¹)	K perdido (%)**
Testemunha	0,14 b	---
Kamafugitol pó	0,16 b	0,3
Kamafugito filler	0,16 b	0,3
Cloreto de potássio (KCl)	2,63 a	32,0
Nitrato de Potássio (KNO ₃)	2,58 a	31,0
CV (%) = 14,4; DMS = 0,37		

*Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

**Valores representam a porcentagem do K aplicado proveniente da fonte que foi perdido por lixiviação e calculado segundo a seguinte equação: % K perdido por lixiviação = [(K lixiviado da fonte (g) - K lixiviado da testemunha (g)) / K total aplicado na adubação (g)] x 100.

A porcentagem de potássio total recolhida na coluna de lixiviação proveniente do kamafugito filler e pó foi em média 0,3% enquanto que do KCl e KNO₃ foi de 32,0 e 31,0%, respectivamente, assim a perda de potássio por lixiviação proveniente dessas

fontes foi aproximadamente 107 vezes maior do que quando se aplicou o kamafugito (Tabela 7).

Em condições de campo, a manutenção do K no local de aplicação da fonte e com menor percolação no perfil é um dos objetivos quando se busca aumentar e/ou manter a fertilidade de um solo destinado para culturas agrícolas. Assim, o kamafugito é uma fonte menos solúvel que o KCl e KNO₃, sendo que a liberação de K para a solução do solo ocorre de forma gradual, ficando este menos sujeito a lixiviação.

10. CONCLUSÕES

O uso do kamafugito nas granulometrias pó ou filler disponibilizou mais potássio na primeira camada de solo (0-5 cm).

As fontes mais solúveis como o KCl, e KNO₃ proporcionaram maior lixiviação do potássio em relação ao kamafugito filler e pó até a última camada dos lisímetros (70 cm).

Apenas para o solo arenoso, o kamafugito filler disponibilizou mais potássio na primeira camada de solo (0-5 cm) do que o pó, para a extração feita com resina trocadora de íons.

O potássio proveniente do kamafugito foi menos suscetível às perdas por lixiviação.

REFERÊNCIAS

- CIOTTA, M. N. *et al.* Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, 2002. p.1055-1064.
- COELHO, A. M. **Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006, 10p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular técnica, 78).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Normatização viabiliza produção de remineralizadores agrícolas**. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10926915/normatizacao-viabiliza-producao-de-remineralizadores-agricolas>>. Acesso em 02 de dez de 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997, 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- EPA- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USA. **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052)**. U.S. EPA, 1996, 20p.
- DUARTE, Ivaniele Nahas. **Termopotássio: Fertilizante alternativo para a agricultura brasileira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- DUARTE, I. N. *et al.* Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n.2, 2013, p.195-200.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análise e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, 2008, p. 36-41.
- GABOS, M. B. *et al.* Lixiviação de potássio aplicado ao solo na forma de cloreto de potássio e de termofosfato potássico fundido. In: FERTBIO, 2006, Bonito (MS). **Anais [...]**. Bonito: Embrapa, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**, 7. ed., 2012. Disponível em:< <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002791.pdf>> Acesso 02 de dez. De 2019.
- KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2003, 27 p. (Documentos 100).
- LUZ A. B.; FRANCISCO E. LOUREIRO L.; SAMPAIO A. J.; CASTILHOS Z. C.; BEZERRA M. S. **Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos agrominerais para o Brasil**. Centro De Tecnologia Mineral Rio de Janeiro. Cap. 4, 2010. p. 61 – 88.

MARTINS, Caroline Cândida. **Potássio: fontes alternativas, tratamentos térmicos e disponibilidade para plantas de milho (*Zea Mays* L.)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

MARTINS E. S., SILVEIRA C. A. P., BAMBERG A. L., MARTINAZZO R., BERGMANN M., ANGÉLICA R. S., **Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture**. 16th World Fertilizer Congress of CIEC, 2014, p. 138 – 140.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V., MATOS; M. S. F. Agro minerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura. **In:** LUZ, A. B.; LINS, F. (ed) **Rochas e Minerais Industriais** – Usos e Especificações, 2008, p.205-221.

NASCIMENTO, M; LAPIDSO-LOUREIRO, F. E. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro CETEM/MCT. 2004, 66 p. (Série Estudos e Documentos, 61).

NASCIMENTO, M; MONTE, M. B. de M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Capítulo 8- Agrominerais- Potássio, In: LUZ, Adão B.; LINS, Fernando A. F. (eds). **Rochas e minerais industriais**. 2. Ed. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

NOVAIS, R. F; *et al.* **Fertilidade do solo**, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 101p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001, 285p.

ROSOLEM, C. A. *et al.* Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 6, v. 41, 2006.

SANZONOWICKZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, São Paulo, v.9, 1985, p. 45-50.

THEODORO, Suzi de Córdova Huff. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2000.

Capítulo 4 - Kamafugito como fonte de nutrientes para as culturas do arroz e braquiária

RESUMO

FERREIRA, BÁRBARA. **Kamafugito como fonte de nutrientes para as culturas do arroz e braquiária.**

Os solos brasileiros apresentam, de maneira geral, baixa fertilidade do solo. Para se atingir altas produtividades são necessárias grandes quantidades de fertilizantes, os quais são em sua maioria, exportados de outros países. Assim, é de suma importância a pesquisa e busca por fontes alternativas de nutrientes, a fim de diminuir a dependência brasileira pela exportação de fertilizantes, otimizar a eficiência da adubação das culturas, favorecer o mercado brasileiro e sistemas produtivos mais sustentáveis. O estudo avaliou o potencial de uso agrícola do kamafugito como remineralizador de solo no cultivo de *Oryza sativa* e *Urochloa brizantha*. Quatro experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, dois utilizando um Latossolo Vermelho distrófico típico e os outros dois utilizando um Neossolo Quartzarênico órtico. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 4 + 4, sendo duas granulometrias do kamafugito (filler e pó), quatro doses (1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³) e quatro tratamentos adicionais, SFT, KCl, SFT + KCl e a testemunha sem aplicação de P₂O₅ e K₂O. Os solos foram incubados com as fontes durante 60 dias, e após esse período, plantas de arroz e brachiaria foram cultivadas por dois ciclos consecutivos. Foram avaliados os teores de P, K, Ca e Mg no solo e nas plantas, produção de massa seca da parte aérea (MSPA), além do acúmulo desses nutrientes na parte aérea das culturas e a eficiência agronômica do kamafugito em relação as fontes solúveis. O kamafugito filler e pó alteraram de forma positiva a maioria das variáveis de desempenho nas culturas estudadas, incluindo os valores de MSPA e o acúmulo dos nutrientes na parte aérea (P, K, Ca e Mg). Para ambas as culturas foram observados bons valores de IEA no 1º e 2º cultivo, uma vez que se trata de uma fonte de liberação mais lenta e com menor solubilidade em relação ao SFT e ao KCl. As maiores doses do kamafugito (6668 e 13336 mg dm⁻³) proporcionaram os melhores resultados, e, entre as formas utilizadas do produto. As granulometrias filler e pó apresentaram comportamento semelhante no incremento da produção e nos teores dos nutrientes no solo e nas plantas.

Palavras chave: remineralizador de solo, disponibilização de nutrientes, fonte alternativa, sustentabilidade.

ABSTRACT

FERREIRA, BÁRBARA. **Agronomic efficiency of kamafugite as a source of nutrients for rice and brachiaria crops.**

Brazilian soils, in general, have low soil fertility. In order to achieve higher productivities, large quantities of fertilizers are required, which are mostly exported from other countries. Thus, research and search for alternative sources of nutrients is very important in order to reduce Brazilian dependence on fertilizer exports, optimize the efficiency of fertilizing crops, favor the Brazilian market and more sustainable production systems. The study evaluated the potential for agricultural use of kamafugite as soil remineralizer in the cultivation of *Oryza sativa* and *Urochloa brizantha*. Four experiments were carried out in a greenhouse, two using a typical dystrophic Red Latosol and the other two using a typical Quartzene Neossolo. The experimental design used was randomized blocks with four replications, in a 2 x 4 + 4 factorial scheme, with two kamafugite granulometries (filler and powder), four doses of kamafugite (1667, 3334, 6668 and 13336 mg dm⁻³) and four additional treatments, triple superphosphate (TSP), potassium chloride (KCl), both combined SFT + KCl and the control without application of P₂O₅ and K₂O. The soils were incubated with the sources for 60 days, and after that period, rice and brachiaria plants were cultivated and two consecutive cuts were performed. The levels of P, K, Ca and Mg in the soil and plants were evaluated, in addition to the accumulation of these nutrients by the crops and the agronomic efficiency of the kamafugite in relation to the soluble sources. Kamafugite filler and powder positively altered most performance variables in the studied cultures, including MSPA values and nutrient accumulation in plants (P, K, Ca and Mg). For both crops, good IEA values were observed in the 1st and 2nd cultivation, since it is a slower release source and with lower solubility compared to SFT and KCl. The highest doses of kamafugite (6334 and 13336 mg dm⁻³) provided the best results, and among the forms used. Both powder and filler particle sizes showed similar performance in increasing production and nutrient content in soil and plants.

Keywords: soil remineralizer, availability of nutrients, grasses, sustainability.

11. INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros apresentam, em geral, baixa fertilidade e disponibilidade de macronutrientes como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), devido principalmente, às condições climáticas predominantes no país que favoreceram o intemperismo. Ademais, tais solos apresentam baixos valores de pH, grandes quantidades de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), bem como possuem minerais do grupo da caulinita como principais constituintes da fração argila, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) (VOLKSWEISS; RAIJ, 1977).

Dentre os nutrientes, o P é um dos maiores limitantes da produção agrícola de solos tropicais, uma vez que o mesmo apresenta uma dinâmica complexa nesses solos. Em condições de acidez, os óxidos de Fe e Al apresentam-se, preferencialmente, com cargas positivas, sendo assim capazes de reter íons fosfatos em sua superfície. Portanto, diferentemente de outros nutrientes, quantidades de fertilizantes fosfatados maiores do que as exigidas pelas plantas são utilizadas, visando primeiramente saturar os componentes responsáveis pela fixação e indisponibilização do nutriente (ANGHINONI; BARBER, 1980). Assim como observado para o P, o K no solo também deve ser suprido com a utilização de fertilizantes. Do total de fertilizante potássico utilizado no Brasil, 90% é importado na forma de cloreto de potássio (KCl) (IPNI, 2016), representando grande ônus à balança comercial do país.

Conseqüentemente, a busca por fontes de nutrientes de baixo custo, a escassez de fertilizantes aplicáveis a sistemas agroecológicos de cultivo, e a crescente dependência pela importação de fertilizantes pelo país fazem do uso de pó de rocha na agricultura uma alternativa importante para a fertilização dos solos brasileiros (LEONARDOS et al., 2000).

Segundo Melamed et al. (2007), o uso de produtos oriundos da rochagem é uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos. As rochas moídas que compõe o produto liberam gradualmente os nutrientes, diminuindo assim as perdas por lixiviação e fixação, bem como apresentam uma ação em longo prazo. As rochas kamafugíticas são exemplos de rochas que possuem quantidades significativas de macronutrientes em sua composição, e podem melhorar a fertilidade do solo a medio e longo prazo, de acordo com sua solubilidade e reatividade no solo.

Os kamafugitos constituem um grupo de rochas raras encontradas em apenas quatro localidades no mundo, Uganda, Itália, Brasil e China. Segundo Brod et al. (2008),

estas rochas ocorrem no Brasil como extensos derrames e depósitos, formando duas das maiores províncias kamafugíticas do planeta, a Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) – grupo Mata da Cordae a Província Alcalina de Goiás (PAGO).

Theodoro (2000), afirma as rochas epiclásticas e vulcânicas do grupo Mata da Corda apresentam elevados teores de K (K_2O) e P (P_2O_5), bem como Nascimento et al. (2008), concluíram que as rochas vulcânicas do Mata da Corda-MG, são fontes potenciais de macronutrientes (P, K, Ca, Mg), podendo ser consideradas como fontes "multinutrientes".

Neste sentido, o uso de fontes alternativas de nutrientes, a exemplo do kamafugito, é uma prática com potencial de promover benefícios em áreas cultivadas com diferentes culturas, como a cultura da *Urochloa brizantha* cv. Piatã (Syn. *Brachiaria brizantha*) e do arroz (*Oryza sativa*).

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das mais importantes para a alimentação humana, sendo um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo e caracteriza-se como principal alimento de mais da metade da população mundial. No Brasil, trata-se de alimento importante no cotidiano do país, com consumo anual de aproximadamente 25 kg de arroz por habitante (BRASIL, 2015). O tipo de solo é um dos fatores mais importantes a ser considerado para o sucesso da produtividade na cultura do arroz, mas, como a maioria dos solos cultivados com arroz apresentam baixa fertilidade natural, o suprimento adequado de nutrientes junto com uma apropriada correção da acidez é fundamental para se obter altos níveis de produtividade (SOSBAI, 2016).

Além do arroz, a produção de capim em pastagem para o consumo animal é de suma importância para o país, uma vez que afeta diretamente a produção de carne brasileira. Apesar dos esforços para manter a produtividade das pastagens, a degradação é frequentemente relatada como ocorrendo após cerca de 5-15 anos de uso da pastagem (Asner et al., 2004). Sendo assim, o manejo adequado da fertilidade de solos cultivados sob pastagens é uma prática fundamental para evitar a degradação e para a restauração das áreas degradadas. A utilização de remineralizador de solo pode ser uma alternativa viável, econômica e ecológica, dado seu baixo custo de produção e longo prazo de liberação.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar o potencial de uso agrícola do kamafugito, nas granulometrias filler ou pó, como fonte de P, K, Ca e Mg para as culturas do arroz (*Oryza sativa*) e da *Urochloa brizantha* cv. Piatã (Syn. *Brachiaria brizantha*).

12. MATERIAL E MÉTODOS

12.1. Instalação dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, localizada no estado Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 18°52'40" S 48°15'20" W no período de 22/12/2017 a 19/10/2018, utilizando dois tipos de solo coletados na profundidade de 0-20 cm. Foram conduzidos dois experimentos sendo um com a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) e um com brachiaria (*Urochloa brizantha*) devido a grande importância de ambas as culturas no cenário agrícola brasileiro, e também por serem gramíneas com alta extração de nutrientes e produção de massa seca, auxiliando a avaliação da eficácia dos fertilizantes testados. Foram utilizadas duas classes texturais de solo (argiloso e arenoso) de dois solos classificados como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd) e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo), cujas características físicas e químicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Caracterização física dos solos utilizados no estudo.

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	90	43	33	834
RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico	626	228	1	145

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1999).

Tabela 2. Caracterização química dos solos utilizados no estudo.

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	4,4	0,3	6,6	0,7	0,05	0,2	0,1	0,26	0,96	7,3	4	73	
RQo	4,4	0,2	3,3	0,5	0,03	0,2	0,1	0,39	1,4	5,2	7	71	

Si = CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); SB = soma de bases;

CTC = capacidade de troca catiônica; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por Al;

M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1999).

As análises químicas foram realizadas no laboratório de fertilizantes LAFER/UFU, quanto aos teores de macronutrientes (P, K, Ca e Mg), seguindo metodologias propostas por EMBRAPA (2009) (Tabela 3). Além do kamafugito (pó e filler), também foi utilizado o KCl (Cloreto de potássio), n o SFT (Superfosfato Triplo),

e a combinação KCl + SFT, ambos na forma granulada, como fontes de referências para fins de comparação, além da testemunha sem aplicação dos produtos.

Tabela 3. Caracterização química das fontes testadas.

Fonte	K ₂ O		P ₂ O ₅		CaO	MgO
	Total*	Solúvel**	Total*	Solúvel**		
----- % -----						
KCl (padrão de K)	60	60	--	--	--	--
SFT	--	--	45	--	--	--
Kamafugito (filler)	4,0	1,2	3,8	1,9	4,1	4,3
Kamafugito (pó)	4,0	1,2	3,8	1,9	4,1	4,3

* Fósforo e potássio total extraído em ácido sulfúrico, fluorídrico, nítrico e perclórico

** Fósforo e potássio solúvel em ácido cítrico 2%

12.1.1. Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 4 + 4, sendo duas granulometrias do kamafugito (filler e pó), quatro doses (1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³) e quatro tratamentos adicionais, SFT, KCl, SFT + KCl e a testemunha sem aplicação de P₂O₅ e K₂O. A quantidade de K e P fornecida foi calculada em função do teor de K₂O e P₂O₅ total. Para efeitos de cálculo, todas as doses dos tratamentos foram convertidas em mg dm⁻³ de solo (Tabela 4).

Nos experimentos cultivados com arroz, as parcelas foram constituídas de vasos plásticos de 10 L de capacidade, sendo adicionados 10 kg de terra fina seca ao ar (TFSA). Para a bachiaria, utilizou-se vasos plásticos de 6 L de capacidade, sendo adicionados 5 kg de TFSA. As fontes convencionais solúveis (KCl e SFT) foram aplicadas no momento da semadura na parte superficial do vaso e levemente incorporadas na camada superficial de solo, e o kamafugito filler e pó foram misturados com a quantidade de solo de cada experimento/cultura e incubados por 60 dias para maior reatividade das fontes, uma vez que se tratam de fontes insolúveis.

Tabela 4. Tratamentos e doses utilizadas nos experimentos com o arroz e com a brachiaria.

Tratamento	Fertilizante	K ₂ O	P ₂ O ₅
----- mg kg ⁻¹ -----			
Testemunha	0	0	0
KCl	133	80	0
SFT	282	0	253
KCl + SFT	133+282	80	253
Kamafugito (filler)	1667	20	63
Kamafugito (filler)	3334	40	127
Kamafugito (filler)	6668	80	253
Kamafugito (filler)	13336	160	507
Kamafugito (pó)	1667	20	63
Kamafugito (pó)	3334	40	127
Kamafugito (pó)	6668	80	253
Kamafugito (pó)	13336	160	507

Todos os tratamentos de cada solo receberam quantidades de CaCO₃ e MgCO₃ para elevar a saturação por bases em 70%. Dessa maneira foram aplicadas 1100 mg kg⁻¹ de CaCO₃ e 330 mg kg⁻¹ de MgCO₃ nos vasos com solo arenoso e 1100 mg kg⁻¹ de CaCO₃ e 330 mg kg⁻¹ de MgCO₃ nos vasos com solo argiloso.

12.1.2. Plantio, adubação e manejo das culturas

12.1.2.1. Experimento com a cultura do arroz (*Oryza sativa L.*)

Os experimentos com arroz foram conduzidos entre o período de 22 de maio de 2017 a 19 de outubro de 2017. Para garantir a reatividade e liberação dos nutrientes da fonte em estudo (kamafugito), no 1º cultivo do arroz cada parcela experimental recebeu 60 dias antes da semeadura os respectivos tratamentos mencionados na tabela 8, exceto para o KCl e o SFT que foram aplicados antes da semeadura. No momento da semeadura também foi aplicado a dose de 200 mg kg⁻¹ de nitrogênio (N) proveniente do sulfato de amônio mais 50 mg kg⁻¹ de FTE BR12 contendo 9 % Zn; 7,1 % Mn; 5,7 % S; 1,8 % B; 0,8 % Cu; 0,1 % Mo, garantindo dessa maneira que esses nutrientes não fossem limitantes para o desenvolvimento das plantas.

A semeadura foi realizada na profundidade de 2 cm, distribuindo-se 10 sementes viáveis da cultivar IRGA 424 em vasos com 10 kg de solo seco. No décimo dia após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo um estande de quatro plantas por vaso. Aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS), cada parcela experimental (vaso) recebeu a adubação nitrogenada complementar, em cobertura equivalente a 100 mg kg⁻¹ de N via sulfato de amônio sólido. Juntamente com a adubação nitrogenada, foi também realizada adubação de cobertura com KCl, onde se adicionou 1g vaso⁻¹ do produto. Aproximadamente 1 mês antes da colheita, foi adicionado 1g vaso⁻¹ do fertilizante fosfato monoamônico (MAP) em todos os tratamentos do solo arenoso, devido a observação de deficiência de P nas plantas cultivadas nesse solo.

Durante a condução dos experimentos, foi levado em consideração todos os cuidados e manejos necessários par o bom desenvolvimento das plantas. No que se refere à irrigação, em todos os vasos foi mantida uma lâmina de água superior a 2 mm (cultivo inundado), a qual foi suspensa antes da colheita.

Aos 82 DAS foi realizada colheita da parte aérea do arroz, após isso o solo dos vasos foi peneirado para retirada das raízes e colocado novamente nos vasos. No solo RQo de baixíssimos teores originais de P, apesar da adubação fosfatada inicial contendo tratamentos com doses de 253 mg dm⁻³ (tratamento com SFT) até 507 mg dm⁻³ de P₂O₅ (tratamento com kamafugito), em todos os tratamentos as plantas apresentaram paralização do crescimento, decorrente da deficiência de fósforo, sendo assim, foi realizada uma aplicação complementar desse nutriente, na dose equivalente a 50 mg dm⁻³ de P₂O₅, via SFT em todos os vasos deste solo antes da semeadura do 2º cultivo. Foi realizada novamente a semeadura do arroz com 10 sementes viáveis por vaso com o desbaste aos 15 DAS mantendo estande de 4 plantas por vaso, aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS), a adubação de cobertura com 100 mg kg⁻¹ de N via sulfato de amônio. O 2º cultivo do arroz objetivou o efeito residual das fontes testadas.

12.1.2.2. Experimento com a cultura da braquiaria (*Urochloa brizantha*)

Este experimento foi instalado em 23 de outubro de 2017 e conduzido até 14 de janeiro de 2018, e neste período foram realizados 2 cortes da braquiária (cerca de 40 dias cada), a qual recebeu os mesmos tratamentos descritos na tabela 8. A diferença aqui foi que, todos os tratamentos, inclusive o kamafugito pó e filler, foram aplicados no solo 60 dias antes da semeadura da brachiaria (aplicação em agosto de 2017), pois, como se trata

de uma fonte insolúvel em água, necessita-se de um maior tempo de contato com o solo para maior reatividade.

A semeadura foi realizada na profundidade de 2 cm com a cultivar Piatã, distribuindo-se 10 sementes por vaso. Após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo um estande de 6 plantas por vaso. Também foram utilizadas as mesmas doses de micronutrientes antes da semeadura, descritas no ensaio de arroz. Aos 15 e 30 dias após semeadura (DAS) e após o primeiro corte, foi realizada a adubação de cobertura com 50 mg dm^{-3} de N com uréia.

Ante da semeadura foram aplicados em todos os vasos 30 mg dm^{-3} de K_2O e P_2O_5 provenientes do KCl e SFT, respectivamente, a fim de elevar os teores desses nutrientes no solo para auxiliar no arranquio da cultura da *Urochloa brizantha*.

Durante a condução dos experimentos as parcelas foram irrigadas diariamente visando manter a umidade dos vasos de aproximadamente 80% da capacidade de campo de cada tipo de solo. O 2º corte da brachiaria (rebrotado do primeiro) teve como objetivo avaliar o efeito residual do kamafugito no solo, sem reaplicação dos tratamentos, e foi realizado 80 dias após a semeadura da brachiaria e 40 dias após o 1º corte.

12.2. Avaliações

12.2.1. Parte Aérea

12.2.1.1. Arroz (*Oryza sativa* L.)

Ao término de cada cultivo, aos 82 e 102 DAS para o 1º e 2º cultivo respectivamente, toda a parte aérea composta por panícula, folha e haste colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 65°C até peso constante. Após o período de secagem e obtenção de peso constante, realizou-se a pesagem de toda a parte aérea para a obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA). Em seguida, foi feita a determinação dos teores de K, P, Ca e Mg, seguindo as metodologias descritas por EMBRAPA (1999).

12.2.1.2. Braquiária (*Urochloa brizantha*)

Com auxílio de uma tesoura de poda, foram realizados dois cortes da parte aérea das plantas aos 40 e 80 DAS. Posteriormente, as amostras de parte aérea foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à estufa à 65°C até peso constante. Após a secagem, foram obtidos os valores da matéria seca da parte aérea (MSPA) e teores de

P, K, Ca e Mg na parte aérea, seguindo as metodologias descritas por EMBRAPA (1999).

12.2.2. Análise de solo

Após cada uma das duas colheitas da parte aérea do arroz, e do segundo corte da braquiária, foram retiradas com o auxílio de um “mini-trado” amostras de solo de todas as parcelas (vasos), coletando-se 5 e 3 pontos por vaso para o arroz e brachiaria, respectivamente, compondo uma única amostra simples por vaso. As amostras foram levadas a estufa a 45°C por 24 horas, e em seguida analisadas quanto aos teores de K, P, Ca, Mg e o pH, conforme a metodologia descrita por EMBRAPA (1999).

12.2.3. Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

Com os dados de MS da parte aérea, calculou-se o índice de eficiência agronômica (IEA) das fontes para cada tipo de solo e na dose equivalente, conforme a seguinte equação:

$$\text{IEA \%} = [(Y2 - Y1) / (Y3 - Y1)] \times 100$$

Y1: Massa seca da parte aérea do tratamento controle;

Y2: Massa seca da parte aérea do tratamento com o kamafugito, na dose 6668 mg dm⁻³

Y3: Massa seca da parte aérea do tratamento com a fonte padrão, na dose equivalente ao Kamafugito

12.2.4. Análise estatística

Os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008), com teste F a 0,05 de significância e análise de regressão polinomial. Ademais, os tratamentos foram comparados ao tratamento testemunha (sem aplicação das fontes) e aos adicionais controles positivos (KCl, SFT, KCl+ SFT) pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância (SILVA; AZEVEDO, 2009).

13. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da cultura do arroz estão divididos em 1º e 2º cultivo, tendo em vista a obtenção de dois ciclos quase completos da cultura, e, amostragem do solo ao final de cada cultivo. Já os resultados da brachiaria estão agrupados 1º e 2º cultivos juntos, pois, como trata-se de uma cultura com característica de rebrota, apenas ao final dos dois cortes foi realizada a amostragem do solo.

13.1. Arroz (*Oryza sativa* L.) – 1º cultivo

13.1.1. Produção de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA)

As maiores produções de MSPA foram observadas nos tratamentos com SFT+KCl, porém, a maior dose do kamafugito (filler e pó) (13336 mg dm⁻³) não diferiu dos controles positivos SFT e KCl+ SFT no solo LVd e, na forma pó, não diferiu do SFT no solo RQo (Tabela 5). O kamafugito na forma de filler foi mais eficiente em aumentar os teores de MSPA em relação ao pó (Tabela 5), porém, para o solo de textura arenosa, o kamafugito pó, na maior dose, foi mais eficiente em incrementar a massa seca do arroz (Tabela 5).

Tabela 5. Massa seca da parte aérea do arroz colhido aos 82 DAS cultivado em um solo argiloso (LVd) e em um solo arenoso (RQo), em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Dose Kamafugito (mg dm ⁻³)	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1667	21,2* ⁺ β ^α	22,3* ⁺ β ^α	21,7	8,0a ^β α	13,9a ^β α	11,0
3334	31,6* ⁺ β ^α	22,6* ⁺ β ^α	27,1	12,7a ^β α	11,6a ^β α	12,2
6668	47,1* ⁺ β ^α	40,5* ⁺ α	43,8	12,5a ^β α	13,4a ^β α	12,9
13336	59,4* ⁺	53,5* ⁺	56,5	14,6b ^β α	26,7a* ⁺ α	20,6
Médias	39,8 a	34,7 b		11,9	16,4	
Testemunha		4,0			5,8	
KCL (80)		5,0			8,5	
SFT (253)		53,4			32,7	
KCl + SFT		64,4			56,0	
CV (%)		20,5			34,6	

Medias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

*Difere da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

+ Difere do tratamento com KCl pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

β Difere do tratamento com SFT pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

α Difere do tratamento com SFT + KCl pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

Os valores de MSPA das plantas de arroz cultivadas em ambos os solos, apresentou um acréscimo linear crescente com o aumento das doses do kamafugito filler e pó (Figura 1), com aumentos maiores observados no solo argiloso (LVd), onde, em média, um incremento de 3 mg na MSPA foi observado para cada 1 mg dm⁻³ de kamafugito aplicado no solo (Figura 1).

Observou-se que, de maneira geral, o solo argiloso proporcionou maiores valores de massa seca em comparação ao solo arenoso, o que pode ser devido às melhores características químicas iniciais desse solo, como maior CTC, maior teor de P no solo (tabela X – análise de solo). Leonardos et al. (1987) avaliando a eficácia do pó de rocha em experimentos com solos Lateríticos, afirmaram que a aplicação de pó de basalto como fonte de nutrientes para as plantas pode promover aumento da produtividade na cultura do feijão.

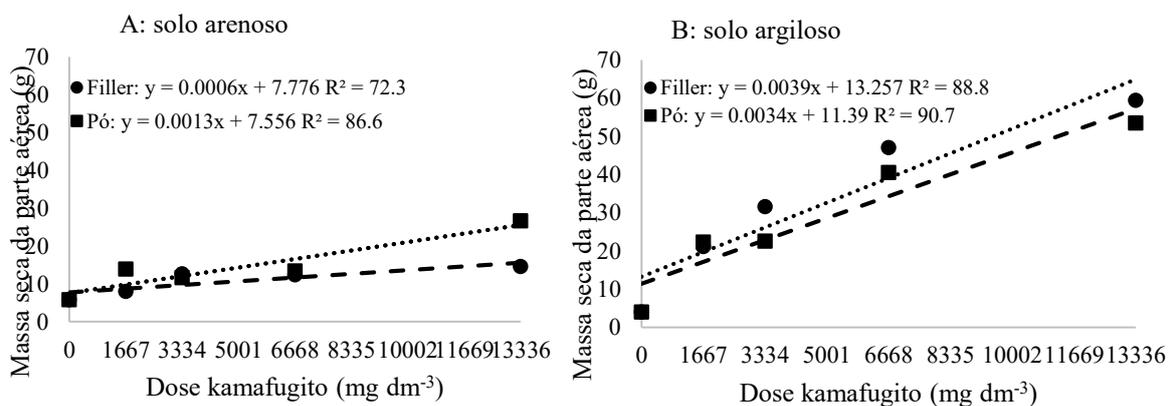


Figura 1. Massa seca da parte aérea do arroz colhido aos 82 DAS cultivado em dois tipos de solo, RQo (A) e LVd (B), em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Nas figuras 2 e 3 são apresentadas ilustrações (fotos) que demonstram as diferenças visuais de crescimento e desenvolvimento da parte aérea do arroz de primeiro cultivo aos 82 DAS, em função de doses crescentes de kamafugito pó e filler, comparado aos tratamentos testemunha absoluta (sem P e K) e aos controles (SFT; KCl e SFT + KCl), no solo argiloso (LVd) e arenoso (RQo).

(A)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafungito (mg dm^{-3})	-----	
				1667	3334	6668	13336

(B)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafungito (mg dm^{-3})	-----	
				1667	3334	6668	13336

Figura 2. Plantas de arroz cultivadas em um RQo aos 82 DAS em função de doses crescentes do kamafungito na forma filler (A) e pó (B).

(A)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

(B)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

Figura 3. Plantas de arroz cultivadas em um LVd aos 82 DASem função de doses crescentes do kamafugito na forma filler (A) e pó (B).

13.1.2. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) – SFT

No primeiro cultivo do arroz, para ambos os solos, foram obtidos menores valores de IEA - SFT nos tratamentos com kamafugito filler e pó comparados ao tratamento com SFT, o que já era de ser esperado, tratando-se de uma fonte de liberação gradativa (Figura 4). Esse resultado concorda com o obtido por Oliveira & Paçô (2010), os quais

observaram que a aplicação de SFT apresentou eficiência agrônômica relativa (EAR) superior à fonte fosfato natural reativo.

O IEA do kamafugito no solo LVd, foi maior que no solo RQo, corroborando com os dados obtidos por Duarte (2012). Isto pode ser explicado em decorrência dos solos de textura argilosa apresentarem partículas com maior superfície específica, permitindo maior contato dessas fontes com os colóides do solo, favorecendo dessa forma as reações de liberação dos nutrientes. Além disso, o solo argiloso utilizado no experimento apresentava características químicas mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, em comparação com o solo arenoso como, maior teor de P e maior CTC.

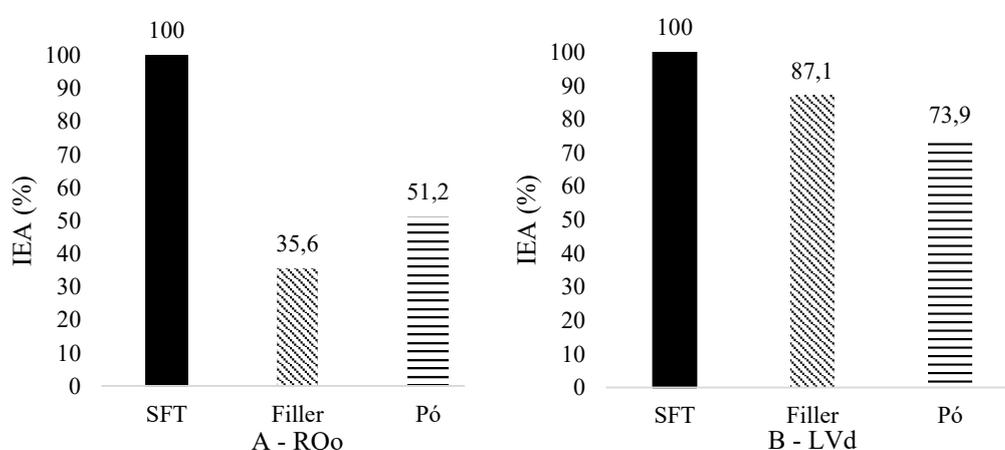


Figura 4. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó no solo RQo (A) e solo LVd (B) no 1º cultivo do arroz em relação ao tratamento controle com SFT.

13.1.3. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) – KCl

Pode-se observar nos resultados de IEA - KCl, em relação ao controle positivo KCl, valores bem acima do controle para os tratamentos com aplicação do kamafugito, principalmente para o solo argiloso (Figura 5). Por ser o kamafugito uma fonte com potencial de liberação gradativa, a aplicação do remineralizador resulta em maior permanência do nutriente no solo, o que pode ser uma explicação para o maior IEA em relação à fonte solúvel. Para este solo, houve maior crescimento, desenvolvimento das plantas de arroz e, portanto, maior acúmulo de massa seca em relação ao solo arenoso (Tabela 5), isso pode ser explicado pelo fato do solo argiloso possuir boa CTC, com maior

capacidade de retenção de K (CANTARUTTI et al., 2007), fornecendo o nutriente por mais tempo em relação ao solo de textura arenosa.

Com esses resultados, infere-se o potencial uso do kamafugito no fornecimento de K para as plantas, e, além disso, fornecimento de outros nutrientes, como o P, que contribuíram para essa grande diferença na massa seca dos tratamentos com o remineralizador e no tratamento controle com KCl (Tabela 5). Vale ressaltar que neste último, não houve adição de P, o que, contribuiu para os menores valores de massa seca obtidas e conseqüentemente para maior IEA (Figura 5). Dessa forma, torna-se impotante, e mais justo, avaliar o IEA, quando comparado ao tratamento controle positivo SFT + KCl, comparação essa feita a seguir.

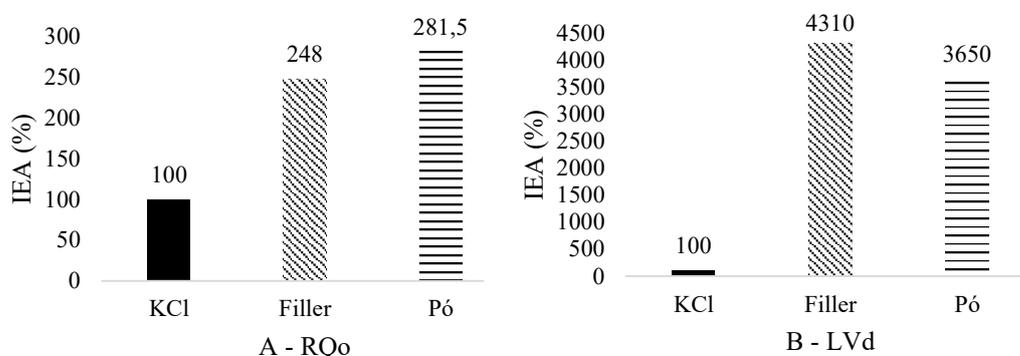


Figura 5. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó no solo RQo (A) e solo LVd (B) no 1º cultivo do arroz em relação ao tratamento controle com KCl.

13.1.4. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) – SFT + KCl

No que diz respeito aos valores de IEA em relação ao tratamento positivo SFT + KCl, verificou-se valores mais baixos dos tratamentos com o kamafugito para o solo arenoso (Figura 6A). Tal fato pode ser atribuído às características físicas e químicas desse solo, pois trata-se de um solo menos estruturado, com menor CTC e com menor fertilidade, assim, como o kamafugito necessita de um tempo maior para reatividade e liberação dos nutrientes, as fontes prontamente solúveis como SFT e KCl, proporcionam uma melhor condição ao desenvolvimento das plantas inicialmente.

Já em relação ao solo de textura argilosa, observou-se bons valores de IEA para os tratamentos com o kamafugito para o 1º cultivo do arroz (71,2% e 60,4%) (Figura 6B), uma vez que se trata de uma rocha de baixa solubilidade e com liberação mais gradativa

dos nutrientes em relação as fontes solúveis, diminuindo as perdas de K e P não absorvidos pelas plantas.

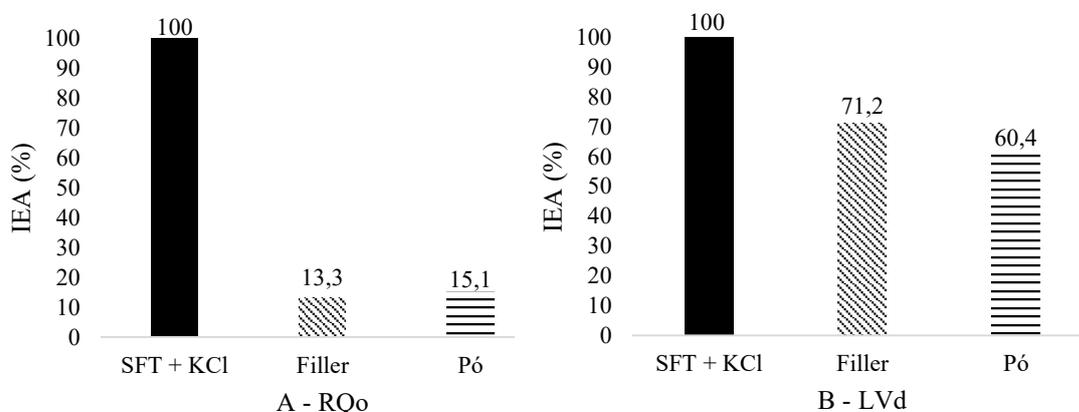


Figura 6. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó no solo RQo (A) e solo LVd (B) no 1º cultivo do arroz em relação ao tratamento controle com SFT + KCl.

13.1.5. Teor de nutrientes no solo e na planta (P, K, Ca e Mg)

13.1.5.1. Fósforo no solo

A aplicação do kamafugito filler ou em pó na dose de 253 mg dm^{-3} de P_2O_5 , resultou em teores de P (Mehlich-1) no solo argiloso superiores ao tratamento com SFT+KCl (253 mg dm^{-3} de P_2O_5) e no solo arenoso esta dose também foi superior ao tratamento somente com SFT (253 mg dm^{-3} de P_2O_5) (Tabela 6). Os níveis ou teores de P disponível (Mehlich) para o solo argiloso (LVd) foram elevados da faixa de “BAIXO” para “MUITO ALTO”, com o aumento da dose do kamafugito filler e pó; e para o solo de textura arenosa os valores passaram de baixo, na menor dose, para médio e alto, para o kamafugito filler e pó, respectivamente, segundo Ribeiro et al., (1999) (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de P em amostras de dois tipos de solo, extraído por Mehlich-1 e Resina, em função da aplicação de doses de P₂O₅ provenientes de diferentes fontes 82 dias após a aplicação.

Dose de P ₂ O ₅	P Mehlich-1					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	-----			mg dm ⁻³	-----	
SFT (253 mg dm ⁻³)		11,0			20,2	
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)		3,6			11,1	
0		0,8			3,1	
Kamafugito (63)	3,3+	2,7+	3,0	12,2*	19,5*	15,8
Kamafugito (127)	4,7*+	4,6*+	4,6	20,3* ^α	24,2* ^α	22,2
Kamafugito (253)	12,2* ^α	10,5* ^α	11,4	21,2* ^α	31,8* ^α	26,5
Kamafugito (507)	24,3* ^α	22,2* ^α	23,2	28,9* ^α	42,0* ^α	35,5
Média	11,1a	10,0b		20,6b	29,4a	
Dose de P ₂ O ₅	P Resina					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	-----			mg dm ⁻³	-----	
SFT (253 mg dm ⁻³)		16,3			34,0	
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)		13,6			23,6	
0		4,8			9,8	
Kamafugito (63)	5,3+ ^α	7,5+ ^α	6,4	12,3a+ ^α	8,1b+ ^α	10,1
Kamafugito (127)	6,7+ ^α	8,9+	7,8	15,3a*+ ^α	13,8b*+ ^α	14,5
Kamafugito (253)	14,0*	14,3*	14,1	17,5a*+ ^α	12,9b*+ ^α	15,2
Kamafugito (507)	18,5*	19,0*	18,8	20,1b*+	24,7b*+	22,4
Média	11,1a	12,4a		16,2	14,9	

Mehlich-1: Solo Argiloso: DMSTukey = 1,0; DMSDunnett_{test} = 2,7; DMSDunnett_{SFT} = 2,7; DMSDunnett_{SFT+KCl} CV (%) = 13,9; Solo Arenoso: DMSTukey=2,9; DMSDunnett_{test}=8,3;DMSDunnett_{SFT}=8,3; DMSDunnett_{SFT+KCl}= 8,7; CV (%) = 18,2;

Resina: Solo Argiloso: DMSTukey = 1,9; DMSDunnett_{test} = 5,3; DMSDunnett_{SFT}= 5,3; DMSDunnett_{SFT+KCl}= 5,9; CV (%) = 22,5; Solo Arenoso: DMSTukey =2,2; DMSDunnett_{test}=3,0;DMSDunnett_{SFT} =3,0; DMSDunnett_{SFT+KCl}= 5,2; CV (%) =8,8;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão (SFT) e do padrão (SFT + KCl), pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Ressalta-se ainda que ao analisar os teores de P (Mehlich) nos dois solos, o tratamento que recebeu a maior dose do kamafugito (507 mg dm⁻³ de P₂O₅) apresentou duas vezes mais P comparados ao tratamento com SFT (Tabela 6). Os resultados deste estudo demonstram que o kamafugito possui grande potencial em aumentar os teores de P lábil. É importante lembrar que o remineralizador possui baixa solubilidade, assim,

espera-se aumento nos teores dos nutrientes no solo de maneira mais gradativa ao longo do tempo.

Analisando os teores de P obtidos com o extrator Resina, no solo de textura arenosa, nas doses de 63, 127 e 253 mg kg⁻¹ de P₂O₅ o kamafugito filler promoveu maiores teores de P no solo quando comparado ao kamafugito em pó (Tabela 6). Os resultados de fósforo no solo extraído com resina não demonstraram o mesmo comportamento, no solo argiloso (LVd) os resultados na dose de 253 mg dm⁻³ de P₂O₅ foram semelhantes ao SFT e SFT+KCl, porém no solo arenoso os resultados foram inferiores na comparação destes mesmos tratamentos (Tabela 6).

Vale ressaltar que, o maior incremento de P no solo observado entre as maiores doses do kamafugito e a fonte solúvel (SFT) é observado apenas para o extrator Mehlich-1. Tal comportamento possivelmente está relacionado ao fato de que o extrator é composto por dois ácidos fortes, podendo superestimar os teores de P no solo, uma vez que é capaz de extrair o P diretamente do remineralizador, o qual não está disponível para as plantas.

Para ambos os solos, aos 154 dias após a aplicação do kamafugito, houve acréscimo linear quanto aos teores de P no solo, com o aumento das doses do kamafugito em ambas as granulometrias (Figuras 7). Tal incremento nos teores de P no solo pode ser devido às características mineralógicas da rocha, uma vez que a presença de fósforo nessas rochas está diretamente relacionada a presença de apatita e gorceixita.

Castro Neto e Silva (2010), avaliando o efeito da farinha de rocha NaturalPlus em coqueiros adultos, observaram aumento nos teores de P, K e Ca quando comparados aos solos sem adubação. Theodoro et al. (2006) observaram aumentos nos teores de P disponíveis no solo com a aplicação de pó de rocha piroxênio/anfibolito milonitizado após um ano de experimento.

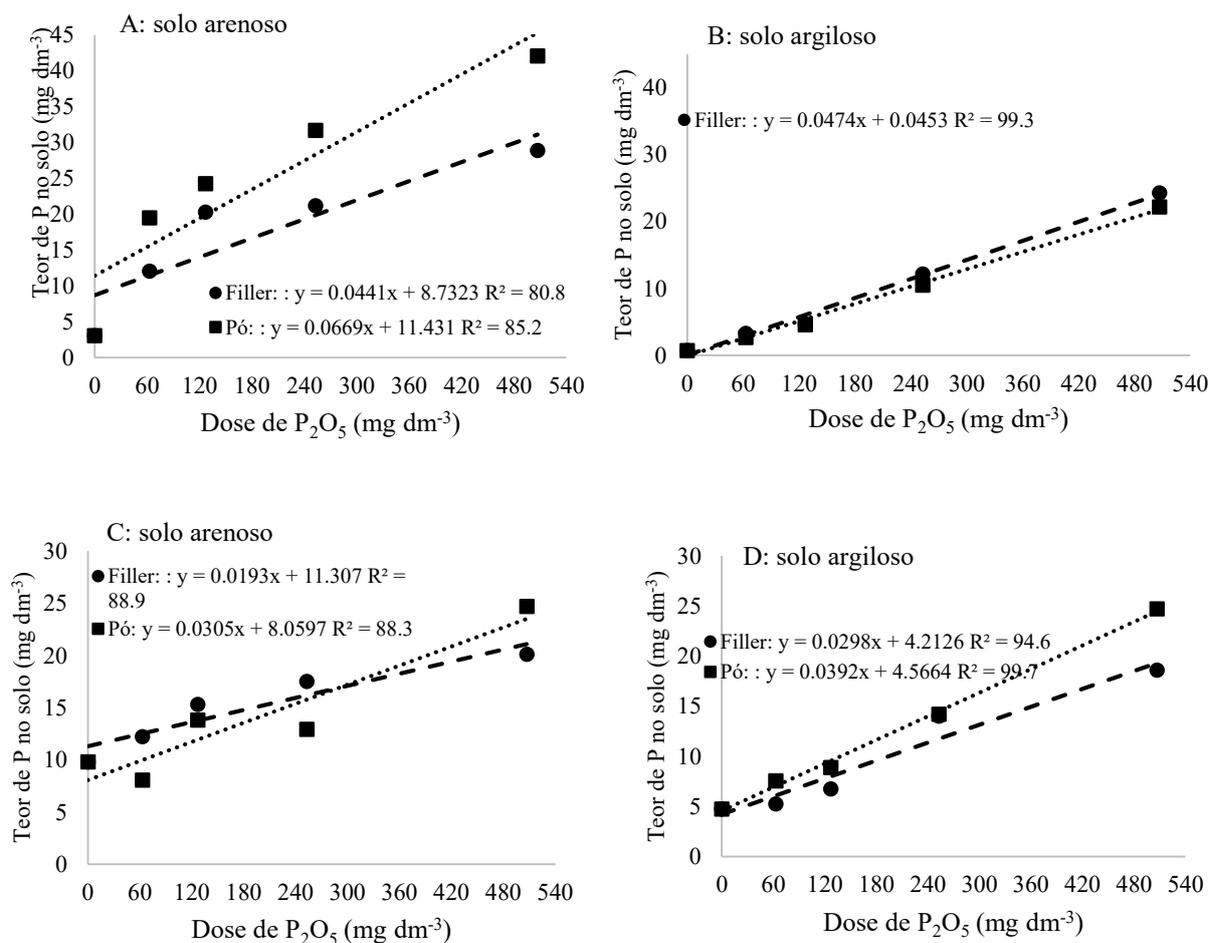


Figura 7. Teor de P extraído com solução extratora Mehlich-1 em um RQo (4A) e LVd (4B) extraídos com resina trocadora de íons em um RQo (4C) e LVd (4D) em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

13.1.5.2. Fósforo na parte aérea

Para o solo argiloso, não houve diferenças entre as concentrações de P na parte aérea do arroz entre as diferentes granuloemtrias do kamafugito (Tabela 7). Já para o solo arenoso, a forma mais fina do produto foi mais eficiente em incrementar as concentrações de P na parte aérea do arroz, possivelmente devido a maior superfície específica das partículas, maior contato com o solo e, portanto, maior reatividade (Tabela 7). O kamafugito na dose 253 mg dm⁻³ de P₂O₅, aplicado no solo de textura arenosa, resultou em maior concentração de P na parte aérea quando comparado ao tratamento SFT+KCl na dose 253 mg dm⁻³ de P₂O₅, com valores iguais a 2,8 g kg⁻¹ e 2,1 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Concentração de P na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhido aos 82 DAS, em função da aplicação de doses de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler ou pó.

Dose de P ₂ O ₅ mg dm ⁻³	P na parte aérea					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
SFT (253 mg dm ⁻³)	----- g kg ⁻¹ -----					
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	0,89			2,12		
0	0,82			1,77		
	0,59			2,05		
Kamafugito (63)	0,65 ^{+ α}	0,63 ^{+ α}	0,6	2,75* ^α	2,34	2,5
Kamafugito (127)	0,63 ^{+ α}	0,68 ^{+ α}	0,7	2,49 ^α	2,16	2,3
Kamafugito (253)	0,68 ^{+ α}	0,66 ^{+ α}	0,7	2,52 ^α	2,55 ^α	2,5
Kamafugito (507)	0,70* ^{+ α}	0,64 ^{+ α}	0,7	2,59 ^α	2,12	2,4
Média	0,67 a	0,65 a		2,59 a	2,29 b	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,03; DMSDunnett_{test} = 0,1; DMSDunnett_{SFT} = 0,1; DMSDunnett_{SFT+KCl} = 0,13; CV (%) = 7,4;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,2; DMSDunnett_{test} = 0,59; DMSDunnett_{SFT} = 0,59; DMSDunnett_{SFT+KCl} = 0,68; CV (%) = 12,3.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT +KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Prado (2008) estabeleceu a faixa adequada (suficiência) de P na parte aérea de plantas de arroz variando de 1,8 - 3,0 g kg⁻¹, os quais estão de acordo com os resultados obtidos nas plantas cultivadas em solos de textura arenosa. O solo argiloso, devido a sua maior CTC e maior quantidade de argilas, óxidos e hidróxidos e ferro e alumínio, contribui para uma maior fixação do P no solo, diminuindo sua disponibilidade para as plantas, e, portanto, a concentração do nutriente nas plantas. Deve ser considerado também, o efeito de diluição do nutriente na massa seca das plantas, uma vez que para a análise foliar toda a estrutura da planta foi moída.

Não houve ajuste matemático para os valores de P na parte aérea do arroz a medida que se aumentou as doses do kamafugito para o solo arenoso (Figura 8A). Já para o solo argiloso, obteve-se ajuste quadrático em função das doses do produto quando aplicado na forma de pó, sendo que os maiores teores de P na parte aérea das plantas de arroz foram obtidos com a aplicação de aproximadamente 240 mg dm⁻³ de P₂O₅ (Figura 8B).

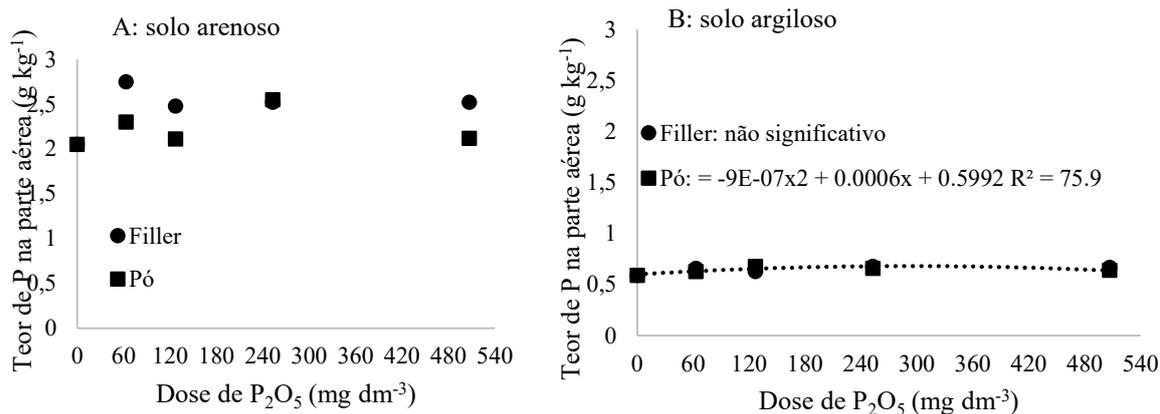


Figura 8. Concentração de P na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em um RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes de P_2O_5 proveniente do kamafugito filler e pó.

O kamafugito na forma filler foi mais eficiente em aumentar os valores de P acumulado na parte aérea em relação ao pó, para plantas cultivadas no solo de textura argilosa, não havendo diferença entre as formas do produto para o solo arenoso (Tabela 8).

Tabela 8. Valores de P acumulado na parte aérea do arroz, colhido 82 DAS, cultivado em dois tipos de solo em função de doses crescentes de P_2O_5 proveniente do kamafugito filler e pó.

Dose de P_2O_5	P acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm^{-3}	----- mg vaso^{-1} -----					
SFT (253 mg dm^{-3})	46,46			68,26		
SFT + KCl ($253 + 80 \text{ mg dm}^{-3}$)	52,03			99,36		
0	2,34			11,87		
Kamafugito (63)	13,63 ^{*+α}	13,74 ^{*+α}	13,69	21,71 ^{+α}	31,92 ^{+α}	26,82
Kamafugito (127)	19,95 ^{*+α}	15,42 ^{*+α}	17,69	31,79 ^{+α}	23,97 ^{+α}	27,88
Kamafugito (253)	32,21 ^{*+α}	26,58 ^{*+α}	29,40	31,34 ^{+α}	34,34 ^{*+α}	32,84
Kamafugito (507)	39,78 ^{*α}	34,33 ^{*+α}	37,10	36,69 ^{*+α}	53,53 ^{*α}	45,11
Médias	26,40 a	22,52 b		30,38 a	35,94 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 3,55; DMSDunnett_{test} = 8,65; DMSDunnett_{SFT} = 8,65; DMSDunnett_{SFT+KCl} = 10,9; CV (%) = 20,0;
Solo Arenoso: DMSTukey = 7,94; DMSDunnett_{test} = 9,96; DMSDunnett_{SFT} = 9,96; DMSDunnett_{SFT+KCl} = 19,9; CV (%) = 31,7;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão (SFT) e do padrão (SFT + KCl), pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

As maiores doses de P_2O_5 aplicadas via kamafugito na forma filler para o solo argiloso, e, na forma pó para o solo arenoso, não diferiram significativamente do tratamento controle SFT (Tabela 8). Isso comprova a eficiência do produto, que, mesmo com menor solubilidade, conseguiu se equiparar a fontes solúveis de alta reatividade como o SFT.

Resultados superiores ao das fontes convencionais já eram esperados em um primeiro momento, já que tais fontes conseguem liberar e fornecer os nutrientes de maneira imediata para o solo e disponibilizá-los para as plantas. Porém, uma vez não aproveitados pelas plantas, a perda por lixiviação e fixação é maior quando comparada a fontes insolúveis como os remineralizadores. Os pós de rocha irão liberar os nutrientes de maneira gradual, de acordo com a necessidade da planta, evitando perdas para o sistema. Assim, espera-se melhores resultados desses tipos de fontes nos cultivos consecutivos.

Novais e Smyth (1999) consideraram que o P proveniente de fontes de maior solubilidade pode ser fixado mais facilmente do que o P proveniente de fontes menos solúveis, que será liberado de forma gradual no solo.

Foi observado aumento linear nos valores de P acumulado a medida que se aumentou as doses de P_2O_5 aplicado via kamafugito filler e pó, em ambos os tipos de solo (Figura 9). Evidenciou-se aumentos de 4,1 e 7,0 $mg\ vaso^{-1}$ de P acumulado na parte aérea para cada 100 $mg\ dm^{-3}$ aplicado via kamafugito filler e pó, respectivamente, para o solo arenoso (Figura 9A). Para o solo argiloso, esses aumentos foram de 6,7 e 5,6, para cada 100 $mg\ dm^{-3}$ do produto aplicado nas formas filler e pó, respectivamente (Figura 9B).

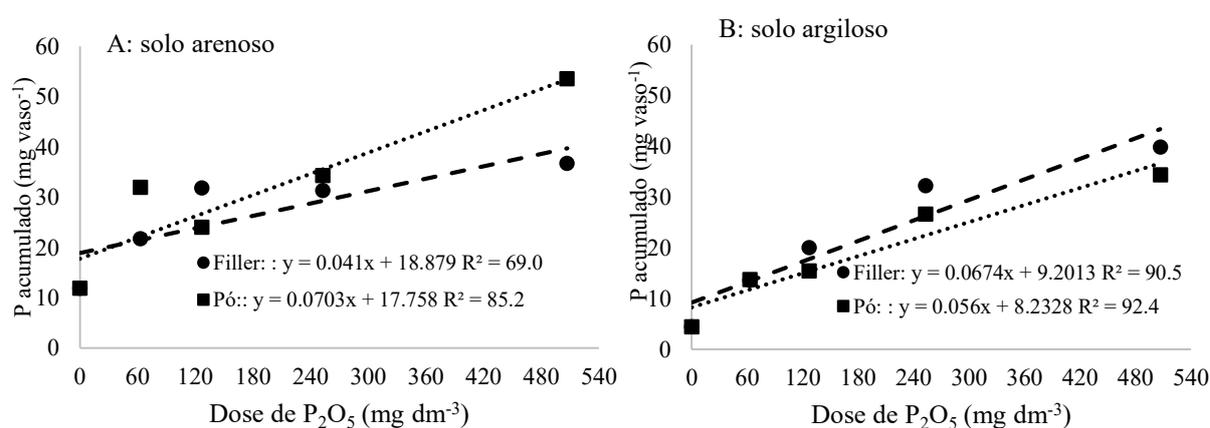


Figura 9. P acumulado na parte aérea de plantas de arroz colhidas aos 82 DAS, cultivadas em um RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes de P_2O_5 proveniente do kamafugito filler e pó.

13.1.5.3. Potássio no solo

Para o solo de textura arenosa, os teores de K no solo (Mehlich e Resina) fornecidos pelo kamafugito em pó ou filler, em todas as doses não diferiram da testemunha, e, para ambos os solos, foram inferiores ao tratamento controle com o KCl (Tabela 9). Para o solo argiloso, os teores de K no solo foram inferiores a testemunha, sem aplicação de K. Uma explicação para esse comportamento é a maior produção de massa seca e absorção do nutriente pelas plantas que recebem o kamafugito. Além disso, vale lembrar que foi aplicado K em cobertura aos 41 DAS em todos os tratamentos, o que pode ter contribuído para o aumento dos teores de K no solo, inclusive para a testemunha.

Em relação ao tratamento controle KCl, esses resultados já eram esperados, uma vez que o KCl é uma fonte altamente solúvel, necessitando de um menor tempo de reação no solo e disponibilizando mais facilmente o nutriente na CTC do solo em comparação com o kamafugito, que é uma fonte pouco solúvel. Em geral, pode-se observar que o kamafugito na granulometria filler aplicada em ambos os solos acarretou em maiores teores de K no solo quando comparada ao pó (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de K em dois tipos de solo, extraído por Mehlich-1 e Resina, em função da aplicação de doses de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó, 82 dias após aplicação.

Dose de K ₂ O	K Mehlich-1					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					
KCl (80 mg dm ⁻³)	120,0			76,8		
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	26,75			16,25		
0	61,0			37,3		
Kamafugito (20)	32,0b ^{*+}	46,0a ^{*+α}	39,0	37,3 ^{+α}	29,5 ⁺	33,4
Kamafugito (40)	28,0b ^{*+}	40,3a ^{*+α}	34,1	45,5 ^{+α}	35,5 ^{+α}	40,5
Kamafugito (80)	21,3a ^{*+}	23,0a ^{*+}	22,1	28,0 ⁺	20,8 ⁺	24,4
Kamafugito (160)	22,8a ^{*+}	20,0a ^{*+}	21,4	36,3 ^{+α}	15,3 ^{*+}	25,8
Média	26,0	32,3		36,8a	25,3b	
Dose de K ₂ O	K Resina					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					
KCl (80 mg dm ⁻³)	27,5			37,8		
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	7,25			15,25		
0	22,0			21,7		
Kamafugito (20)	24,8a ^α	14,5b ^{*+α}	13,0	22,0 ⁺	18,0 ⁺	20,0
Kamafugito (40)	13,3a ^{*+α}	15,0a ^{*+α}	14,1	22,8 ⁺	19,8 ⁺	21,3
Kamafugito (80)	12,5a ^{*+α}	8,0b ^{*+}	13,1	19,25 ⁺	18,0 ⁺	18,6
Kamafugito (160)	12,0a ^{*+α}	7,8b ^{*+}	13,6	19,75 ⁺	15,0 ⁺	17,4
Média	15,6	11,3		20,9a	17,7a	
Mehlich-1: Solo Argiloso:	DMSTukey = 6,2; DMSDunnett _{test} = 8,7; DMSDunnett _{KCl} = 8,7; DMSDunnett _{SFT+KCl} = 12,2; CV (%) = 10,3; Solo Arenoso: DMSTukey = 7,3; DMSDunnett _{test} = 20,5; DMSDunnett _{KCl} = 20,5; DMSDunnett _{SFT+KCl} = 14,7; CV (%) = 27,8;					
Resina: Solo Argiloso:	DMSTukey = 3,8; DMSDunnett _{test} = 4,0; DMSDunnett _{KCl} = 4,0; DMSDunnett _{SFT+KCl} = 3,83; CV (%) = 12,4; Solo Arenoso: DMSTukey = 3,3; DMSDunnett _{test} = 9,2; DMSDunnett _{KCl} = 9,2; DMSDunnett _{SFT+KCl} = 9,56; CV (%) = 20,9;					

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α, diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

O teor de K no solo apresentou um pequeno decréscimo com o aumento nas doses do kamafugito (Figura 10). Esse decréscimo observado pode ser devido a maior extração do potássio ao longo do crescimento do arroz do que a quantidade de K disponibilizada pelo kamafugito, causando uma redução dos teores de K no solo. De acordo com Crusciol et al. (1999), o K é um dos elementos mais exigidos e absorvidos pela cultura do arroz, sendo superado apenas pelo N.

Os pó de rocha por ser caracterizado como um produto de baixa solubilidade, sua eficiência no solo depende de uma complexa relação de fatores como composição química e mineralógica da rocha, granulometria, tempo de reação, fatores climáticos e fatores ligados ao solo (OSTERROHT, 2003). Hanisch et al. (2013) afirmaram que essa

complexidade de relações para a efetividade de ação do pó de rocha pode ser o fator que limita a observação de resultados promissores do uso desse material em experimentos sob situações controladas.

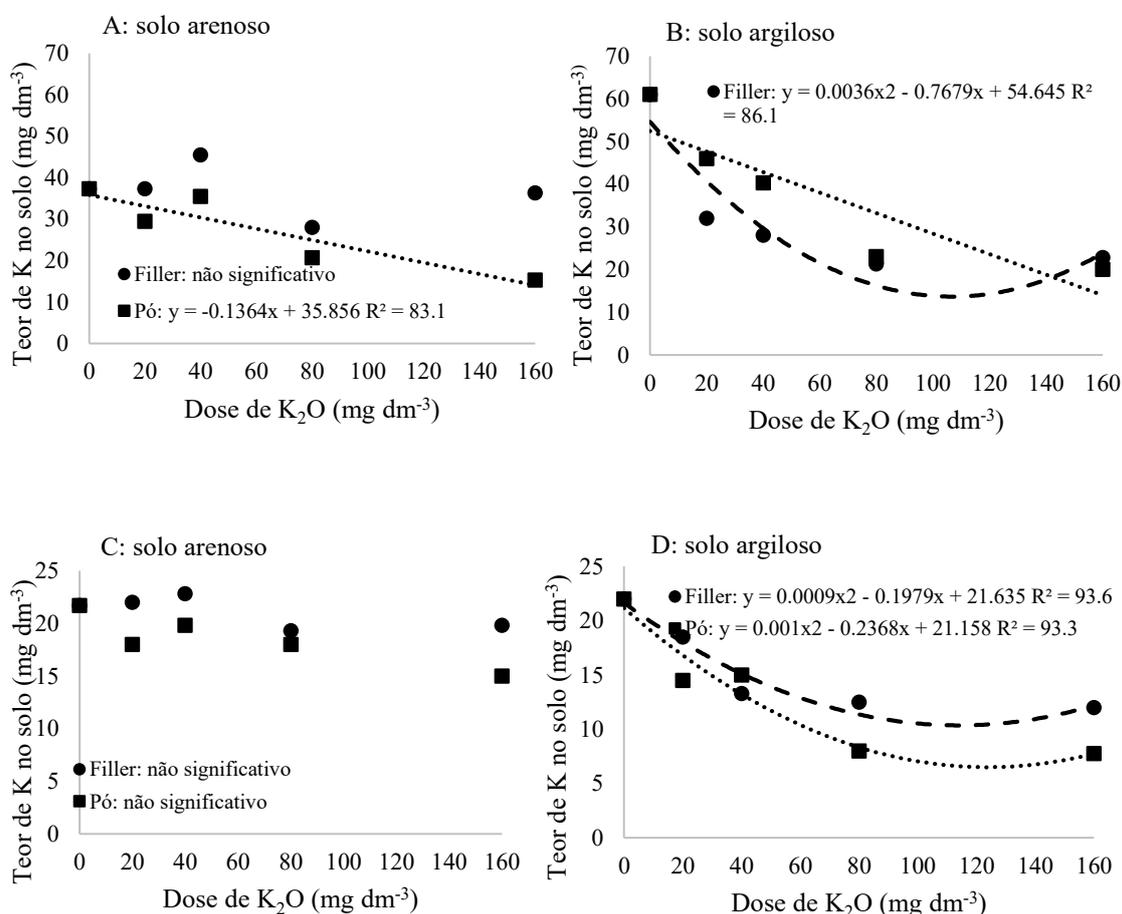


Figura 10. Teor de K extraído com solução extratora Mehlich-1 em um RQo (4A) e LVd (4B) e com resina trocadora de íons em um RQo (C) e LVd (D) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó.

13.1.5.4. Potássio na planta

Quanto aos teores de K na parte aérea de plantas de arroz, observa-se para o solo de textura argilosa, onde observou-se maiores teores de K na parte aérea na aplicação do kamafugito na forma pó nas doses 20, 40 e 80 mg kg⁻¹ de K₂O em relação ao produto na forma filler nas mesmas doses. Ademais, ressalta-se que aplicação do kamafugito em pó nas três menores doses (20, 40 e 80 mg dm⁻³ de K₂O) resultou em teores de K na parte

área de plantas de arroz semelhantes às aquelas cultivadas com KCl, mesmo esta última sendo considerada uma fonte solúvel (Tabela 10).

Para o solo de textura arenosa, observa-se que, com o aumento na dose de kamafugito, há uma redução no teor de K na massa seca das plantas de arroz, sendo que a menor dose do kamafugito (20 mg kg^{-1} de K_2O), aplicada nesse tipo de solo, acarretou em maiores teores de K ($34,1 \text{ g kg}^{-1}$ de K) sendo diferente da testemunha ($26,4 \text{ g kg}^{-1}$ de K) (Tabela 10). Além disso, pode-se observar que, para este mesmo solo, a fonte na forma filler aplicada nas doses 20 e 160 mg dm^{-3} de K_2O resultou em maiores teores quando comparada à fonte na forma pó. Os teores de K na parte aérea da testemunha podem ser atribuídos à aplicação de KCl em cobertura aos 41 DAS em todos os tratamentos (Tabela 10).

Em geral, os teores de K na parte aérea obtidos neste estudo estão de acordo com os níveis críticos estipulados por Prado (2008), o qual demonstra níveis adequados de K em plantas de arroz na faixa de $13,0$ a $30,0 \text{ g kg}^{-1}$.

Observa-se ajustes com a redução no teor de K nas plantas (Figura 11), como estas plantas apresentaram uma produção maior de massa seca, indica que está ocorrendo uma diluição no K na planta, novamente conforme foi observado a redução do K no solo.

Tabela 10. Teor de K na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 82 dias, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose de K ₂ O	K na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----					
KCl (80 mg dm ⁻³)	23,4			41,7		
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	18,3			21,3		
0	17,3			26,4		
Kamafugito (20)	20,1a ⁺	21,4 a*	20,8	34,1a ^{+*} α	26,1b ⁺	30,1
Kamafugito (40)	19,5b ⁺	22,4 a* α	20,9	29,0a ⁺ α	27,4a ⁺ α	28,2
Kamafugito (80)	15,6b ⁺	21,0a*	18,3	28,3a ⁺ α	26,8a ⁺ α	27,5
Kamafugito (160)	14,7a ⁺ *	14,8a ⁺	14,8	28,8a ⁺ α	15,9b ⁺ *	22,3
Média	17,5	19,9		30,0	24,0	

Solo Argiloso: DMSTukey = 2,3; DMS; Dunnetttest= 3,2; DMSDunnettKCl = 3,2; DMSDunnettSFT+KCl= 3,52; CV (%) = 8,4;

Solo Arenoso: DMSTukey = 4,7; DMSDunnetttest = 6,6; DMSDunnettKCl = 6,6; DMSDunnettSFT+KCl= 5,4; CV (%) = 11,4.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

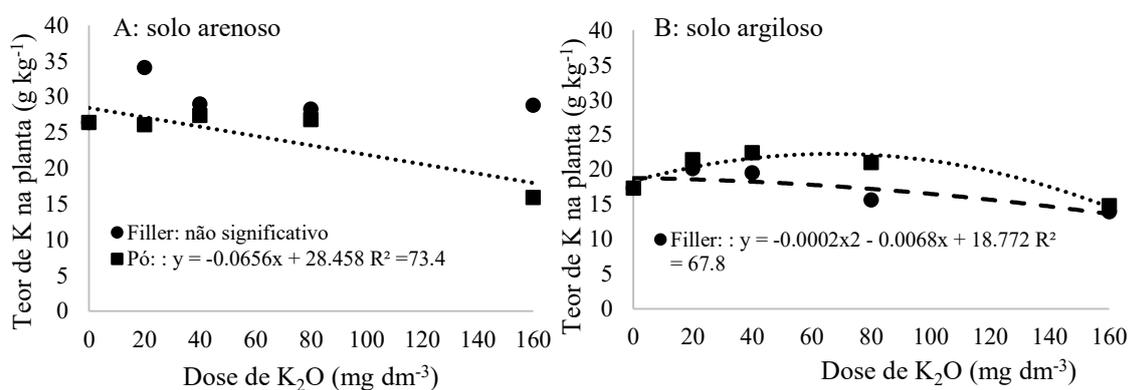


Figura 11. Teor de K na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em um RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes de K proveniente do kamafugito filler e pó.

Em relação aos valores (quantidade) de K acumulado na planta aos 82 DAS (Tabela 11), observou-se que, para o solo de textura argilosa, tanto o kamafugito em pó como o filler aumentaram a quantidade acumulada de K em relação a testemunha. Além disso, foram observados valores superiores de K acumulado na parte aérea dos tratamentos com o kamafugito em relação ao tratamento com KCl e similares ou superiores no solo argiloso (Tabela 11). Tal superioridade ou similaridade do remineralizador em fornecer o K para as plantas em comparação com o adubo mineral

altamente solúvel (KCl), demonstra seu potencial para ser utilizado como fonte de K na agricultura, mesmo que sua solubilidade seja menor que o KCl.

Os kamafugitos são rochas ígneas insaturadas em Si, de afinidade ultrapotássica, ricas em Ca. A natureza ultrapotássica dessas rochas está relacionada ao excesso de K₂O em relação a Na₂O. A origem do potássio nessas rochas está diretamente relacionada à presença de minerais ricos nesse elemento, tais como flogopita, leucita e kalsilita. Ademais alguns argilominerais presentes, produto de alteração de minerais primários, também apresentam potássio em sua estrutura química.

O maior acúmulo de K na parte aérea das plantas de arroz observado no solo argiloso em comparação com o solo arenoso pode ser consequência da maior produção de matéria seca das plantas no solo argiloso, devido à melhores características químicas e possivelmente físicas desse tipo de solo.

Tabela 11. Valores de K acumulado na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 82 DAS em função de doses de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó.

Dose de K ₂ O	K acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg vaso ⁻¹ -----					
KCl (80 mg dm ⁻³)	119,9			311,1		
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	1182,4			1188,9		
0	68,6			159,9		
Kamafugito (20)	421,8* ^a	486,4* ^{+a}	454,1	270,5 ^a	363,6* ^a	317,1
Kamafugito (40)	628,7* ^{+a}	503,6* ^{+a}	566,2	364,7* ^a	313,3 ^a	339,0
Kamafugito (80)	733,3* ^{+a}	857,1* ^{+a}	795,2	351,0* ^a	355,8* ^a	353,4
Kamafugito (160)	824,9* ^{+a}	786,8* ^{+a}	805,9	416,1* ^a	418,0* ^a	417,1
Médias	652,1 a	658,5 a		350,6 a	362,7 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 109,0; DMSDunnetttest = 305,5; DMSDunnett = 305,5; DMSDunnett_{SFT+KCl} = 339,2; CV (%) = 27,7; Solo Arenoso: DMSTukey = 68,16; DMSDunnetttest = 191,1; DMSDunnett_{KCl} = 191,1; DMSDunnett_{SFT+KCl} = 172,5; CV (%) = 28,3.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^a diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão KCl + SFT, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Para o solo argiloso, obteve-se aumento linear nas quantidades de K acumulada na planta, a medida que se aumentou a dose dos produtos filler e pó (Figura 12); esse aumento corresponde em média de 3,70 mg por vaso de K para cada 1 mg dm⁻³ de K₂O

aplicado via kamafugito filler e pó. Para o solo de textura arenosa observou-se esse comportamento linear apenas para a granulometria filler (Figura 12).

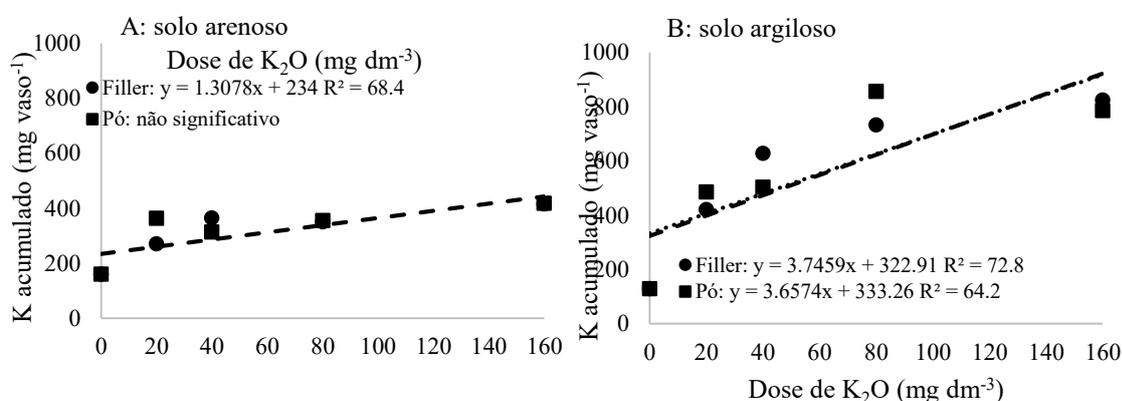


Figura 12. K acumulado na parte aérea do arroz colhido aos 82 DAS, cultivado em dois tipos de solo, RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó.

13.1.5.5. Ca no solo e na planta

Todos os tratamentos receberam doses iguais de carbonato de cálcio, assim as diferenças encontradas nos teores deste elemento no solo são em função do acréscimo advindo dos tratamentos com kamafugito. A aplicação do kamafugito resultou em acréscimos nos teores de Ca no solo quando comparado à testemunha, apresentando diferenças significativas em todas as doses no solo argiloso e na maior dose do kamafugito no solo arenoso (Tabela 12). Os aumentos nos teores de Ca em ambos os solos apresentaram ajustes lineares de regressão (Figura 13).

Theodoro et al. (2006) observaram que, ao aplicar pó de rocha piroxênio/anfibolito milonitizado, após um ano de experimento, variações positivas do teor de Ca e Mg no solo são obtidas, especialmente em áreas onde a presença destes elementos é muito baixa.

Não foram observadas diferenças entre as formas do kamafugito (filler ou pó) nos teores de Ca no solo de textura arenosa. Entretanto, para o solo de textura argilosa, a fonte na forma filler se mostrou mais eficiente em disponibilizar Ca ao solo nas duas maiores doses (6668 e 13336 mg dm⁻³) quando comparada à fonte na forma pó (Tabela 12).

Tabela 12. Teor de Ca nos solos arenoso e argiloso, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó, 152 dias após aplicação.

Dose Kamafugito mg dm ⁻³	Ca no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	----- cmol _c dm ⁻³ -----					
0	1,8			1,8		
1667	2,0a*	1,9a	2,0	1,8	1,8	1,8
3334	2,0a*	2,0a*	2,0	2,0	1,8	1,9
6668	2,3a*	2,1b*	2,2	2,0	1,8	1,9
13336	2,6a*	2,3b*	2,5	2,1*	2,1*	2,1
Média	2,2	2,0		2,0 a	1,9 b	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,1; DMSDunnett = 0,2; CV (%) = 3,5;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,1; DMSDunnett = 0,2; CV (%) = 4,9.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

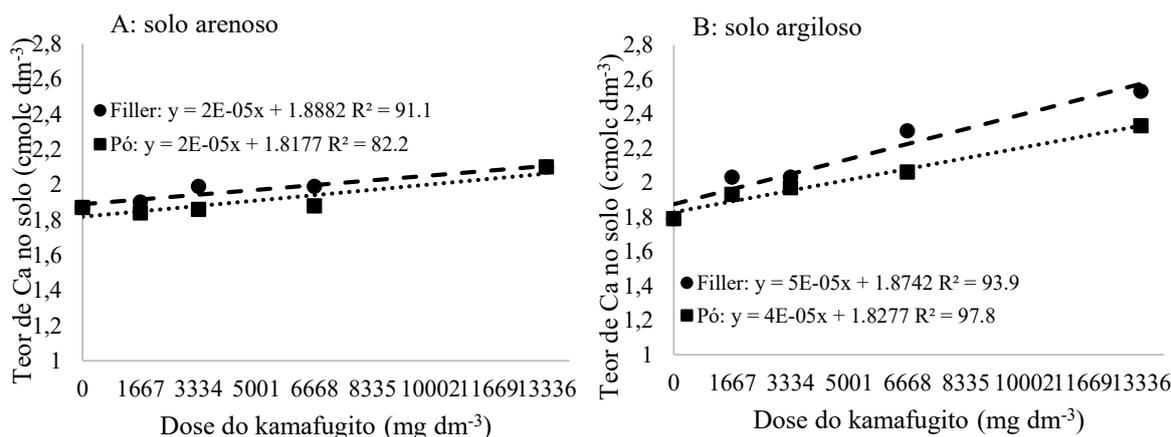


Figura 13. Teores de Ca em um RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Conforme esperado, os teores de Ca na parte aérea de plantas observados neste estudo estão de acordo com os valores observados por Prado (2008), o qual estipula nível crítico deste nutriente na faixa de 2,5 a 10 g kg⁻¹ para a cultura do arroz (Tabela 13).

Tabela 13. Teor de Ca na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 82 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose do Kamafugito mg dm ⁻³	Ca na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	3,7			3,3		
1667	3,9	3,4	3,7	4,1a	4,5a+*	4,3
3334	3,9	3,3	3,6	4,2b	5,2a*	4,7
6668	3,8	3,1	3,4	4,4b*	5,2a*	4,8
13336	3,9	3,1	3,5	4,2b	6,1a*	5,1
Média	3,8a	3,2b		4,2	5,2	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,2; DMSDunnett = 0,7; CV (%) = 9,0;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,68; DMSDunnett = 0,9; CV (%) = 9,97.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere, da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Para o solo de textura argilosa, observou-se teores de Ca na parte aérea de plantas de arroz maiores nos tratamentos cultivados com o kamafugito na forma filler em relação ao pó, sendo observado o oposto no solo arenoso (Tabela 13). Neste último observou-se aumento linear do teor de Ca na parte aérea com o aumento da dose do kamafugito na forma de pó (Figura 14 A). Tais resultados demonstram o grande potencial de uso do kamafugito como fonte de Ca para as plantas (Tabela 13). Os kamafugitos são rochas ígneas insaturadas em Si, de afinidade ultrapotássica, ricas em Ca. A presença de cálcio é relacionada aos minerais calcita, perovskita, apatita e melilita, que ao longo do tempo, podem reagir no solo e liberar o nutriente para as plantas.

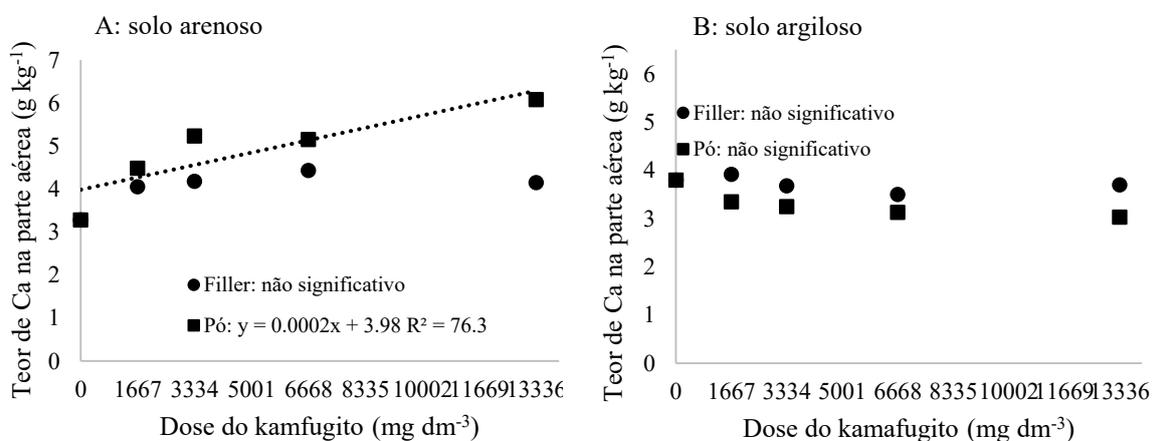


Figura 14. Teores de Ca na parte aérea do arroz cultivado em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó

No que se refere aos valores de Ca acumulado, para o solo de textura argilosa, observou-se acréscimo nos valores para ambas as formas do produto em quase todas as doses, exceto pela menor dose do kamafugito pó (Tabela 14). Já para o solo arenoso apenas a maior dose do kamafugito pó foi eficiente em incrementar os valores de Ca acumulado de maneira significativa (Tabela 14).

Observou-se aumento linear no teor de Ca acumulado nas plantas em função do aumento da dose dos produtos testados, demonstrando a eficiência de ambas as formas do kamafugito em fornecer o nutriente as plantas de arroz (Figura 15).

Tabela 14. Valores de Ca acumulado na parte aérea do arroz cultivado em dois tipos de solo colhido 82 DAS e função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Ca acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	15,27			18,92		
1667	83,85*	71,47	77,66	32,88a	62,26a	47,57
3334	114,99*	72,85*	93,92	53,01a	61,73a	57,37
6668	166,72*	124,37*	145,55	55,94a	68,86a	62,40
13336	219,68*	162,00*	190,84	60,02b	161,62a*	110,82
Médias	146,31 a	107,67 b		50,46	88,62	

Solo Argiloso: DMSTukey = 14,59; DMSDunnett = 56,72; CV (%) = 24,5;

Solo Arenoso: DMSTukey = 39,15; DMSDunnett = 54,23; CV (%) = 41,2.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere, da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

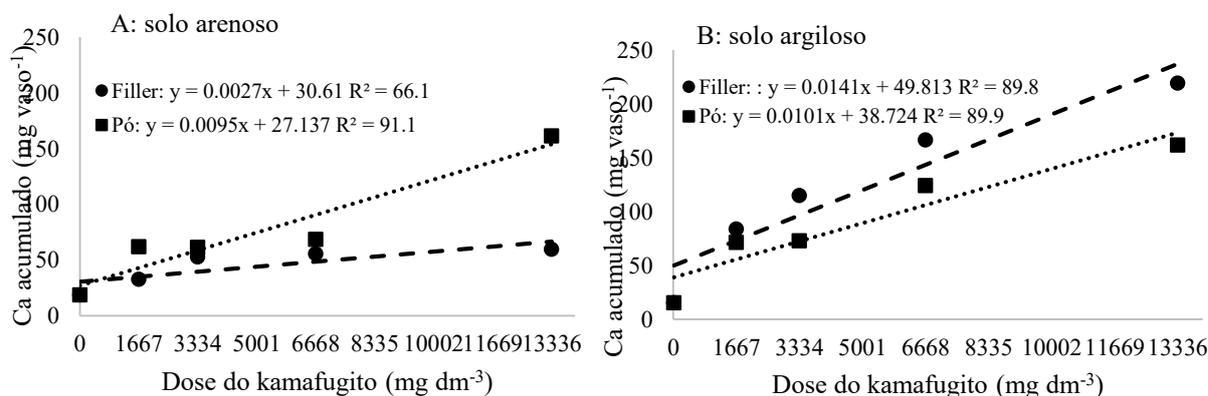


Figura 15. Ca acumulado na parte aérea do arroz colhido aos 82 DAS, em dois tipos de solo, RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

13.1.5.6. Mg no solo e na planta

As análises dos dados demonstraram não haver diferenças entre as granulometrias filler e pó do kamafugito quanto aos teores de Mg em ambos os solos. No solo de textura arenosa, teores de Mg superiores à testemunha foram observados nos tratamentos em que o kamafugito filler aplicado nas doses 3334 e 13336 mg dm⁻³, com valores de 2,7 cmol_c dm⁻³ de Mg para os produtos e de 2,2 cmol_c dm⁻³ para a testemunha (Tabela 15). Também não se verificou ajustes para as doses do kamafugito para o Mg no solo (Figura 16). É importante ressaltar que todos os tratamentos receberam doses iguais de carbonato de cálcio e magnésio.

Theodoro & Leonardos (2006), observaram incremento pouco significativo para os teores de Mg no solo adubado com pó de rocha, sobretudo nas áreas que já possuem níveis acentuados de calcário. Segundo Gilkes e Harley (2000), a solubilidade lenta seria uma característica importante do uso de pó de rocha, por permitir que ocorra um efeito residual após a aplicação do produto, o que reduziria a demanda por aplicação de fertilizantes por determinados períodos.

Os kamafugitos são rochas ígneas insaturadas em Si, de afinidade ultrapotássica. Minerais de afinidade ferro-magnésiana também são encontrados na paragênese mineral dessas rochas, tais como magnetita, clinopiroxênio (diopsídio) e em menor porcentagem ilmenita, hematita e calcopirita.

Tabela 15. Teor de Mg em dois tipos de solo, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó, 82 dias após aplicação.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Mg no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	2,0			2,2		
1667	2,1	1,9	2,0	2,6	2,6	2,6
3334	1,9	2,0	1,9	2,7*	2,5	2,6
6668	2,0	2,0	2,0	2,6	2,5	2,5
13336	2,1	2,1	2,1	2,7*	2,4	2,5
Média	2,0a	2,0a		2,6a	2,5a	

Solo Argiloso: DMSTukey =0,1; DMSDunnett = 0,2; CV (%) =5,7;

Solo Arenoso: DMSTukey =0,2; DMSDunnett =0,5; CV (%) = 9,3;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

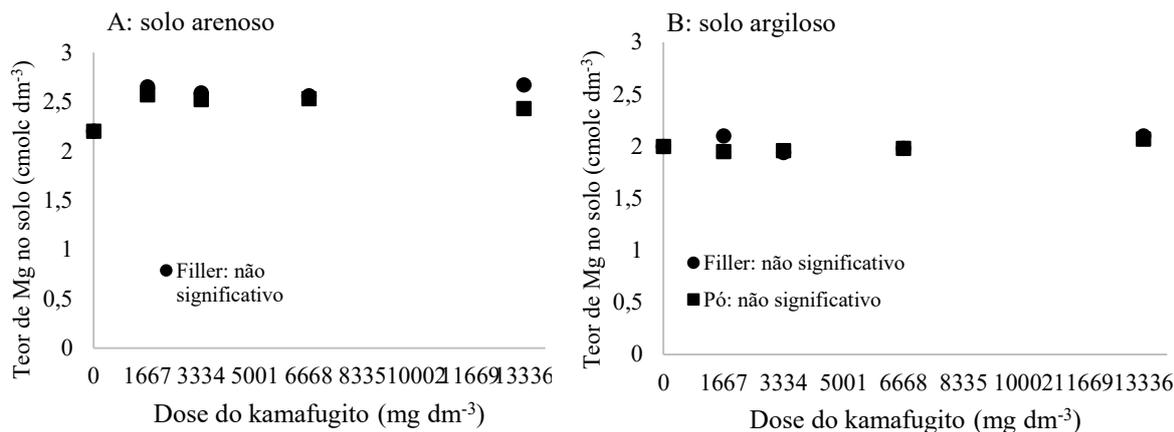


Figura 16. Teor de Mg em um RQo (A) e um LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Os teores de Mg na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em solo de textura argilosa aumentaram com o aumento de das doses de ambas as formas de kamafugito utilizadas (Tabela 16). Assim, nos tratamentos com a aplicação da fonte, observou-se teores aproximadamente duas vezes superiores àquelas em que não houve a aplicação de quaisquer fontes. Ademais, ressalta-se que a fonte aplicada na forma filler, na dose de 6667 mg dm⁻³, foi mais eficiente em incrementar os teores de Mg na parte aérea que a fonte na forma pó (Tabela 16). O kamafugito apresentou ajuste linear positivo para o pó nos dois solos e o filler no solo arenoso como demonstrado na Figura 17.

Para o solo de textura arenosa, não foi observada diferença entre as fontes quanto aos teores de Mg na parte aérea. Entretanto, no tratamento em que o produto foi aplicado em pó, na maior dose, os teores de Mg foram superiores àqueles observados no tratamento controle (Tabela 20).

Tabela 16. Teor de Mg na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 82 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Mg na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	3,4			5,7		
1667	4,5a*	4,5a*	4,5	6,4	6,7	6,6
3334	4,4a*	4,4a*	4,4	6,4	6,3	6,4
6668	6,0a*	4,6b*	5,3	6,4	6,7	6,6
13336	7,2a*	6,7a*	7,0	6,0	7,7*	6,8
Média	5,5	5,0		6,3b	6,9a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,6; DMSDunnett = 0,9; CV (%) = 8,5;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,5; DMSDunnett = 1,4; CV (%) = 10,6.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

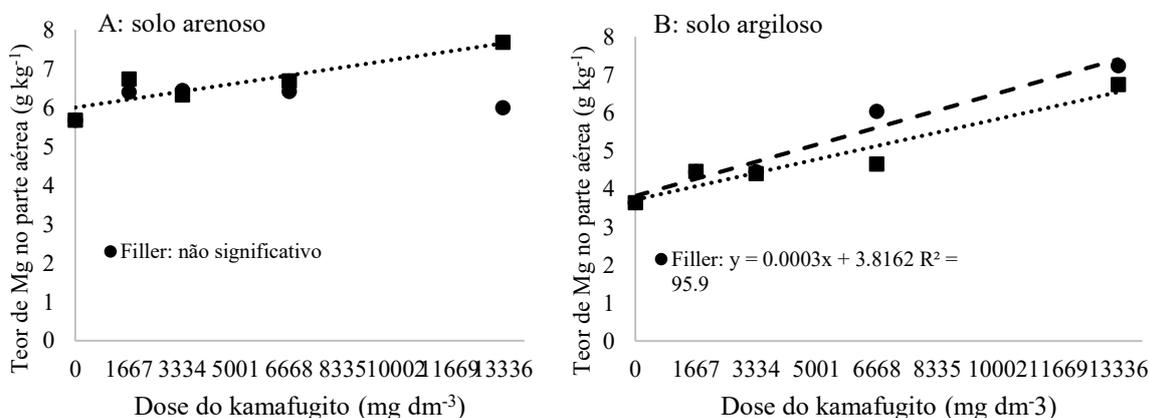


Figura 17. Teor de Mg na parte aérea do arroz cultivado em um RQo (A) e um LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Observou-se aumento dos valores de Mg acumulado em relação a testemunha para todas as doses e para ambas as formas do kamafugito no solo de textura argilosa, já para o solo arenoso esse incremento foi observado apenas na maior dose do kamafugito na forma de pó (Tabela 21).

Tabela 17. Valores de Mg acumulado na parte aérea do arroz cultivado em dois tipos de solo (RQo e LVd) colhido 82 DAS e função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Mg acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	14,40			32,99		
1667	95,98*	97,32*	96,65	51,31a	93,59a	72,45
3334	138,88*	98,92*	118,90	82,96a	73,82a	78,39
6668	284,11*	186,87*	235,49	80,74a	90,20a	85,47
13336	430,64*	361,20*	395,92	87,58b	208,03a*	147,81
Médias	237,4 a	186,1 b		75,65	116,41	

Solo Argiloso: DMSTukey = 26,74; DMSDunnett = 74,1; CV (%) = 19,3;

Solo Arenoso: DMSTukey = 53,75; DMSDunnett = 74,44; CV (%) = 41,4.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Foi observado comportamento linear no aumento no teor de Mg acumulado a medida que se aumentou as doses do kamafugito filler e pó nos dois tipos de solo, mostrando a eficiência dos produtos em fornecer Mg às plantas de arroz (Figura 18). Tal incremento é mais significativo no solo argiloso, devido, principalmente, aos maiores valores de massa seca obtidos nesse tipo de solo.

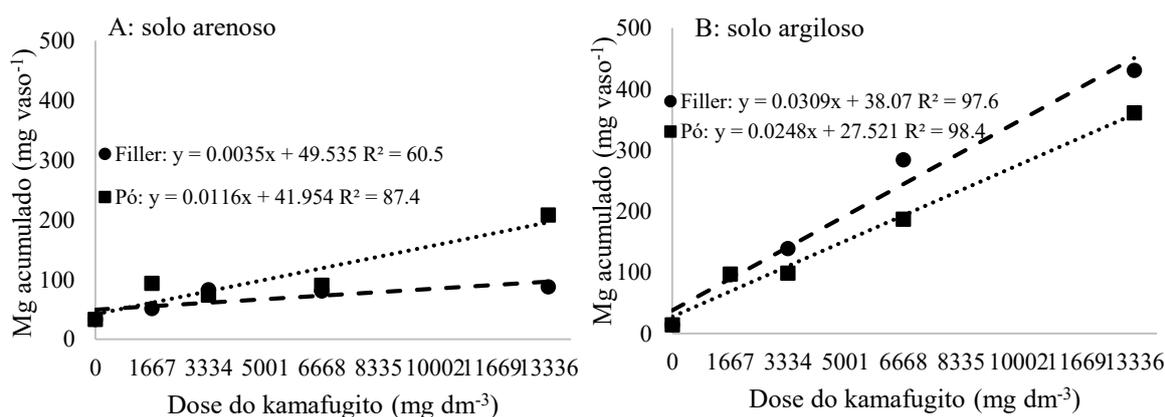


Figura 18. Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz colhidas aos 82 DAS, cultivadas em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

13.1.6. pH do solo

A aplicação do kamafugito em ambos os solos resultou em aumentos nos valores de pH quando comparada à testemunha. Neste sentido, a fonte demonstrou potencial em elevar os valores de pH em solos tropicais (Tabela 18). Foi observado um ajuste linear no aumento do pH com as duas granulometrias no solo argiloso e um ajuste quadrático para o kamafugito pó no solo arenoso (Figura 19).

Vale lembrar que foram aplicadas doses iguais de CaCO_3 e MgCO_3 em todos os vasos, inclusive na testemunha, com o objetivo de elevar o pH e a saturação por bases dos solos. Assim, os incrementos no pH do solo em relação a testemunha, são provenientes da aplicação do remineralizador de solo. Em trabalho realizado por Knapik e Angelo (2007), foi observado elevação do pH do solo pela aplicação de pó de basalto em comparação com adubações convencionais. Esse resultado foi atribuído às maiores quantidades de Ca e Mg adicionadas pelo pó de basalto. Theodoro et al. (2006) observaram alterações positivas no pH do solo, utilizando o pó de rocha a base de piroxênio/anfibolito milonitizado, após um ano de experimento.

Além disso, há a presença de Si na composição do kamafugito, sabe-se que o silicato, quando presente no solo, pode vir a reagir com as moléculas de água e liberar íons OH^- ao final das reações químicas, contribuindo para a neutralização de íons H^+ e, portanto, aumentando o pH do solo.

Tabela 18. Valores de pH de um RQo e um LVd, 152 dias após aplicação de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Dose do kamafugito mg dm^{-3}	pH CaCl_2					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0		4,9			5,6	
1667	5,2*	5,2*	5,2	5,8a	5,9a	5,8
3334	5,2*	5,3*	5,3	5,9a*	6,0a*	5,9
6668	5,2*	5,4*	5,3	5,9a*	6,0a*	6,0
13336	5,3*	5,4*	5,4	6,0a*	6,1a*	6,0
Média	5,2b	5,3a		5,9	6,0	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,05; DMSDunnett = 0,1; CV (%) = 1,3;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,2; DMSDunnett = 0,3; CV (%) = 2,3;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * e * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

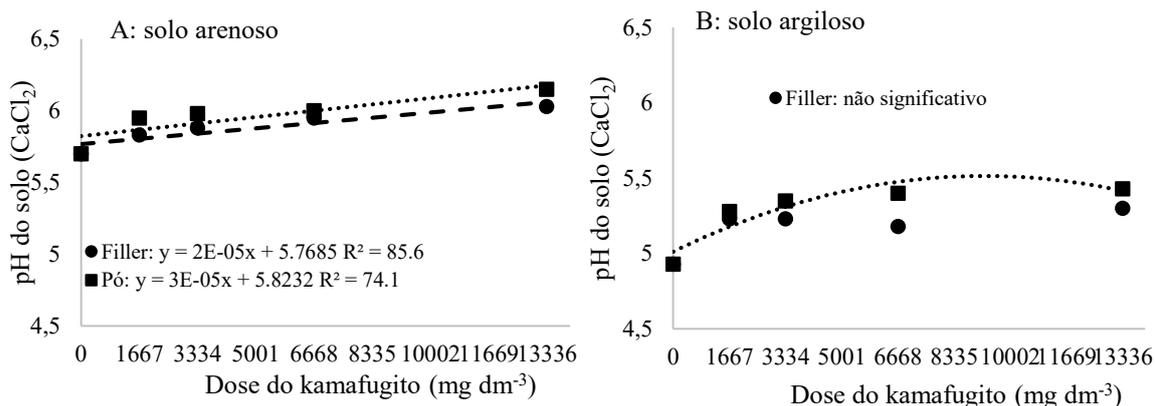


Figura 19. pH de um RQo (A) e um LVd (B) em função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

13.2. Arroz (*Oryza sativa L.*) – 2º cultivo

13.2.1. Massa Seca da Parte Aérea (MSPA)

A maior dose aplicada do kamafugito resultou em acúmulos de MSPA semelhantes aos tratamentos adicionais SFT e KCl+ SFT no solo argiloso (LVd) e bem superiores ao tratamento controle com KCl Tal comportamento demonstra o bom efeito residual do remineralizador, fornecendo os nutrientes para as plantas de maneira gradual e evitando perdas por lixiviação do K e fixação de P. Para ambas as granulometrias do kamafugito houve aumento da MSPA, não havendo diferença estatística entre os dois tratamentos pelo Teste de Tukey (Tabela 19).

Tabela 19. Massa seca da parte aérea do arroz colhido aos 102 DAS cultivado em um LVd e em um RQo, em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafulgito filler e pó.

Dose Kamafulgito mg dm ⁻³	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1667	7,71 ^{β α}	10,30* ^{+ β α}	9,00	30,00	33,21	31,61
3334	8,56 ^{β α}	14,10* ^{+ β α}	11,32	40,14 ^β	32,64	36,39
6668	16,70* ^{+ β α}	15,27* ^{+ β α}	16,00	35,90 ^β	35,25 ^β	35,58
13336	27,52* ⁺	28,27* ⁺	27,89	43,76 ^β	31,86	37,81
Médias	15,12 a	16,98 a		37,47 a	33,24 a	
CV (%)	23,1			16,45		
Testemunha	2,83			38,1		
KCl (80)	3,11			39,2		
SFT (253)	25,5			22,88		
KCl + SFT	28,01			36,65		

Medias seguidas de letras distintas na linha diferem entre Si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

*Difere da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

⁺ Difere do tratamento com KCl pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

^β Difere do tratamento com SFT pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

^α Difere do tratamento com SFT + KCl pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

Para o solo argiloso, os resultados de MSPA das plantas de arroz, apresentaram um acréscimo linear com o aumento das doses do kamafulgito (Figura 20), de aproximadamente 0,0017 g de MSPA para cada 1 mg dm⁻³ de kamafulgito aplicado. Para o solo de textura arenosa, não foram obtidos ajustes de modelos de regressão para avaliar o efeito das doses, entretanto, observa-se que com a aplicação das três maiores doses do filler (3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³ de kamafulgito) obteve-se valores de MSPA superiores ao tratamento adicional SFT (Tabela 19) e foram semelhantes ao tratamento SFT+KCl. A falta de resposta no solo arenoso (RQo) é explicada pela aplicação de fósforo em todos os tratamentos no início do cultivo deste ciclo.

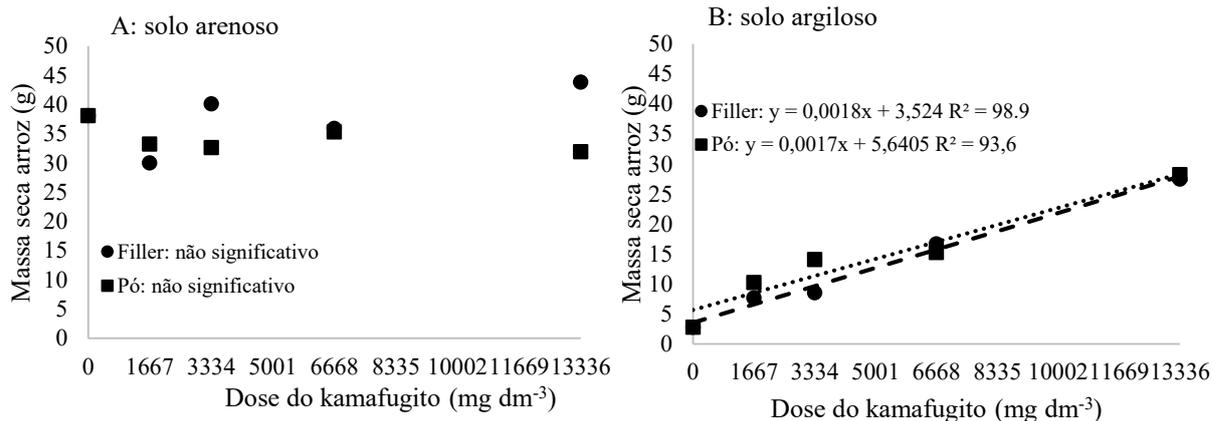


Figura 20. Valores de massa seca da parte aérea de plantas de arroz cultivadas em um RQo (A) e em um LVd (B), colhidas 102 DAS, em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Nas figuras 21 e 22 são apresentadas ilustrações (fotos) que demonstram as diferenças visuais de crescimento e desenvolvimento da parte aérea do arroz de primeiro cultivo aos 102 DAS, em função de doses crescentes de kamafugito pó e filler, comparado aos tratamentos testemunha absoluta (sem P e K) e aos controles (SFT; KCl e SFT + KCl), no solo argiloso (LVd) e arenoso (RQo).

(A)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito (mg dm^{-3})	-----	
				1667	3334	6668	13336

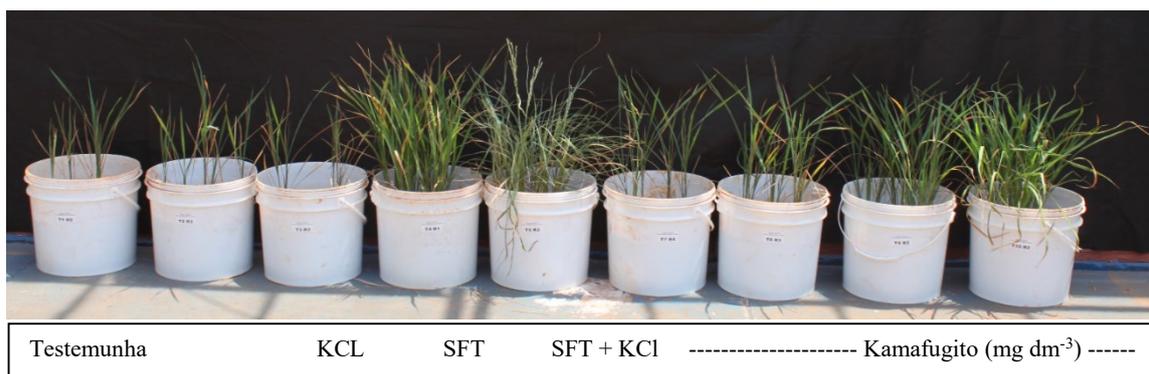
(B)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito (mg dm^{-3})	-----	
				1667	3334	6668	13336

Figura 21. Plantas de arroz cultivadas em um RQo em função de doses crescentes do kamafugito filler (A) e pó (B), colhidas aos 102 DAS.

(A)



(B)

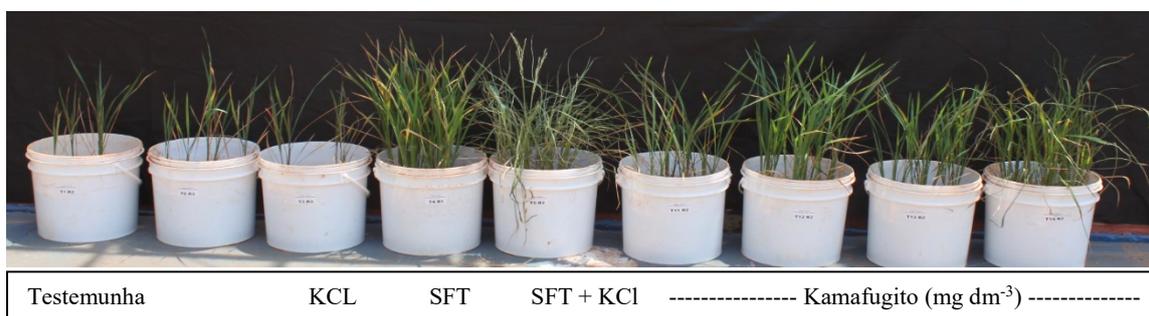


Figura 22. Plantas de arroz cultivadas em um LVd em função de doses crescentes do kamafugito filler (A) e pó (B).

Em geral, os valores de MSPA demonstram um efeito residual do kamafugito, apresentando teores de MSPA superiores à testemunha e próximo às fontes solúveis após cultivos sucessivos.

13.2.2. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) – SFT, KCl e SFT + KCl

É apresentado na Figura 23 os valores do IEA para o kamafugito filler e pó em relação ao SFT, KCL e SFT + KCl no solo argiloso (LVd). Para o solo arenoso não foi possível realizar o cálculo do IEA, pois, observada deficiência de P em meados do ciclo do 1º cultivo do arroz para este solo, houve a necessidade da aplicação adubação complementar de P para todos os tratamentos nesse solo, inclusive para a testemunha, antes da semeadura do 2º cultivo. Com isso as plantas se desenvolveram, incluindo a testemunha, aumentando sua massa seca e camuflando o efeito das fontes sobre essa variável, a qual é utilizada para o cálculo do índice.

O IEA do kamafugito pó e filler foi menor comparado ao SFT, mas ainda assim constituem bons valores, por tratar-se de uma fonte de liberação gradativa no solo.

Porém, os valores foram maiores em comparação ao 1º cultivo do arroz, demonstrando assim o bom efeito residual da fonte, e seu potencial uso para fornecimento de P e para a construção da fertilidade do solo em longo prazo (Figura 23A)

Em relação ao KCl, observou-se que o kamafugito, em ambas as granulometrias, demonstrou uma grande diferença nos valores de IEA em comparação ao tratamento controle. Por ser o kamafugito uma fonte com potencial de liberação gradativa, com alto poder residual e ausência de Cl, o qual contribui para a lixiviação do K, a aplicação do kamafugito resulta em maior permanência do nutriente no solo. Porém, vale ressaltar que, o tratamento controle com KCl não recebeu nenhuma fonte de P, o que, provavelmente afetou o crescimento das plantas (Figura 23B).

Os tratamentos com kamafugito mostraram bons valores de IEA, quando comparados ao controle positivo SFT e KCl, considerando que tratam-se de fontes solúveis, que disponibilizam os nutrientes de forma mais rápida as plantas (Figura 23C). Mesmo os valores terem sido menores que os do 1º cultivo, ainda assim, há de se considerar a baixa solubilidade dessas fontes. Espera-se um melhor desempenho de fontes naturais de nutrientes, como os remineralizadores, ao longo do tempo e em cultivos consecutivos, propiciando um maior tempo de reatividade com o solo.

Observou-se, para todos os tratamentos controle positivos, que a granulometria filler foi mais eficiente em elevar os valores de IEA do kamafugito quando comparada a forma pó (Figura 23). Esse comportamento possivelmente acontece devido a menor superfície específica das partículas dessa fonte, aumentando o contato das mesmas com o solo e conseqüentemente sua reatividade e disponibilização de nutrientes.

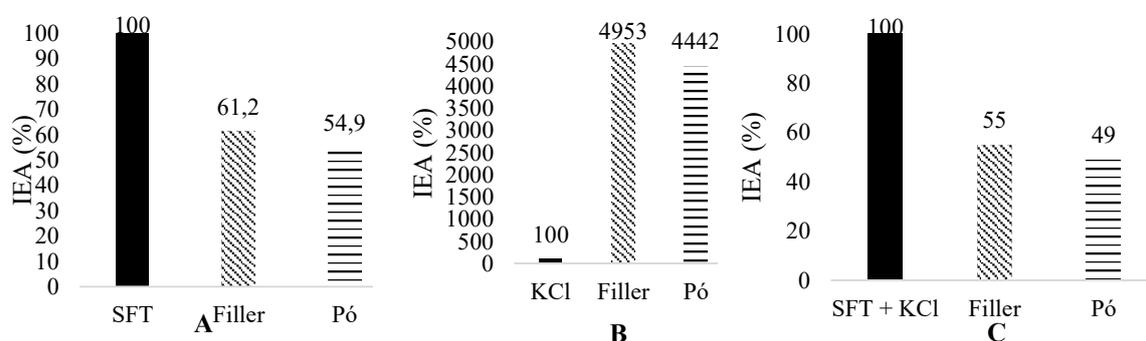


Figura 23. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó em relação ao SFT (A), KCl (B) e SFT + KCl (C), em um LVd no 2º cultivo de arroz colhido aos 102 DAS.

13.2.3. Teores de nutrientes no solo e na planta (P, K, Ca e Mg)

13.2.3.1. Fósforo no solo

Para o solo de textura argilosa, a aplicação das duas maiores doses de P_2O_5 (253 e 507 mg dm^{-3}) através do kamafugito resultou em teores de P superiores ao tratamento SFT e SFT+KCl (253 mg dm^{-3}) usando o extrator Mehlich-1. Assim, aplicando-se a dose de 507 mg dm^{-3} de kamafugito na forma filler e na forma pó, pode-se obter teores de P no solo aproximadamente 12 e 9 vezes, respectivamente, superiores aos solos adubados com SFT ou SFT+KCl com este extrator (Tabela 20). Pôde ser observado que, mesmo com teores de P considerado baixos, a aplicação do kamafugito nas doses de 157, 253 e 507 mg dm^{-3} de P_2O_5 proporcionou teores maiores de P no solo, em comparação com a testemunha e com os controles SFT e SFT + KCl, em ambos os solos e granulometrias (Tabela 20).

Tabela 20. Teor de P em dois tipos de solo, extraído por Mehlich-1, em função da aplicação de doses de P_2O_5 provenientes do kamafugito filler e pó 244 dias após a aplicação.

Dose de P_2O_5 mg dm^{-3}	P no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
	----- mg dm^{-3} -----					
SFT (253 mg dm^{-3})		0,19			0,85	
SFT + KCl ($253 + 80 \text{ mg dm}^{-3}$)		0,17			0,78	
0		0,12			0,26	
Kamafugito (63)	0,30	0,24	0,27	1,08a*	0,76a	0,92
Kamafugito (127)	0,42	0,36	0,39	1,53a* ⁺ ^α	1,00b*	1,26
Kamafugito (253)	1,11* ⁺ ^α	0,77* ⁺ ^α	0,94	2,99a* ⁺ ^α	2,21b* ⁺ ^α	2,60
Kamafugito (507)	2,25* ⁺ ^α	1,67* ⁺ ^α	1,91	5,80a* ⁺ ^α	4,64b* ⁺ ^α	5,22
Média	0,99 a	0,76 b		2,84	2,15	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,12; DMSDunnett_{test} = 0,35; DMSDunnett_{SFT} = 0,35; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 0,37; CV (%) = 23,8;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,38; DMSDunnett_{test} = 0,53; DMSDunnett_{SFT} = 0,53; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 0,55; CV (%) = 12,5.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Pode-se inferir com esses resultados que o remineralizador possui melhor eficiência em fornecer P em longo prazo do que as fontes convencionais solúveis. Assim, o kamafugito se apresenta como uma importante fonte do nutriente com potencial uso na agricultura, principalmente para construção da fertilidade do solo ao longo do tempo,

sendo uma fonte de nutrientes que menos agride o meio ambiente, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Para o solo de textura arenosa, observou-se teores de P no solo com a aplicação do kamafugito na forma filler foram superiores ao tratamento com SFT já na dose 127 mg dm⁻³. Para esse solo, também foi possível notar que a fonte na forma filler foi mais eficiente em disponibilizar P ao solo comparando a granulometria filler que a mesma fonte na forma pó, com exceção dos tratamentos com a dose 63 mg dm⁻³. Para ambos os solos, observou-se acréscimos lineares quanto aos teores de P no solo com o aumento das doses do kamafugito (Figura 24).

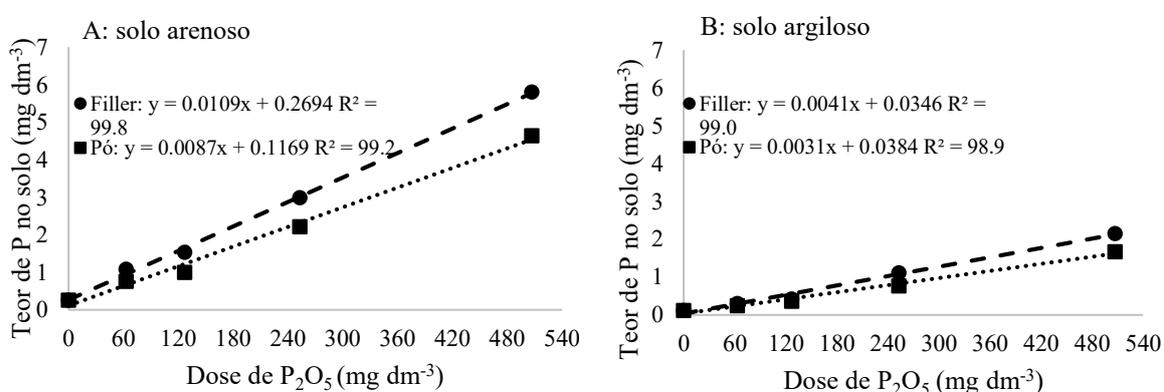


Figura 24. Teor de P em um RQo (A) e um LVd (B) em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

13.2.3.2. Fósforo na planta

Em relação ao teor de P na parte aérea observou-se, acréscimo significativo do nutriente na planta em relação à testemunha em todas as doses no solo LVd e nas maiores doses de P₂O₅ para o solo RQo, e em relação aos tratamentos positivos (SFT e SFT+KCl), as menores doses diferiram apresentando um menor teor de P nos dois solos em comparação ao SFT e apenas no argiloso para o SFT+KCl (Tabela 21). Na maior dose do kamafugito, o teor de P na planta foram semelhantes aos tratamentos ou superior aos tratamentos positivos (SFT e SFT+KCl), demonstrando a capacidade desta fonte de fornecer P as plantas.

Tabela 21. Teor de P na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 102 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó.

Dose de P ₂ O ₅	P na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----					
SFT (253 mg dm ⁻³)	0,84			1,17		
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	1,00			0,92		
0	0,23			0,62		
Kamafugito (63)	0,44* ⁺ α	0,44* ⁺ α	0,44	0,75 ⁺	0,75 ⁺	0,75
Kamafugito (127)	0,52* ⁺ α	0,53* ⁺ α	0,52	0,80 ⁺	0,78 ⁺	0,79
Kamafugito (253)	0,65* ⁺ α	0,59* ⁺ α	0,62	0,80 ⁺	0,83* ⁺	0,80
Kamafugito (507)	1,01* ⁺	1,02* ⁺	1,01	1,05*	1,26* ⁺ α	1,15
Média	0,66 a	0,64 a		0,85 a	0,90 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,06; DMSDunnett_{test} = 0,17; DMSDunnett_{SFT} = 0,17; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 0,17; CV (%) = 13,1;
Solo Arenoso: DMSTukey = 0,07; DMSDunnett_{test} = 0,19; DMSDunnett_{SFT} = 0,19; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 0,17; CV (%) = 11,2.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Foi observado aumento linear nos teores de P na parte aérea do arroz com o aumento da dose de P₂O₅ proveniente do kamafugito nas duas formas testadas (Figura 25).

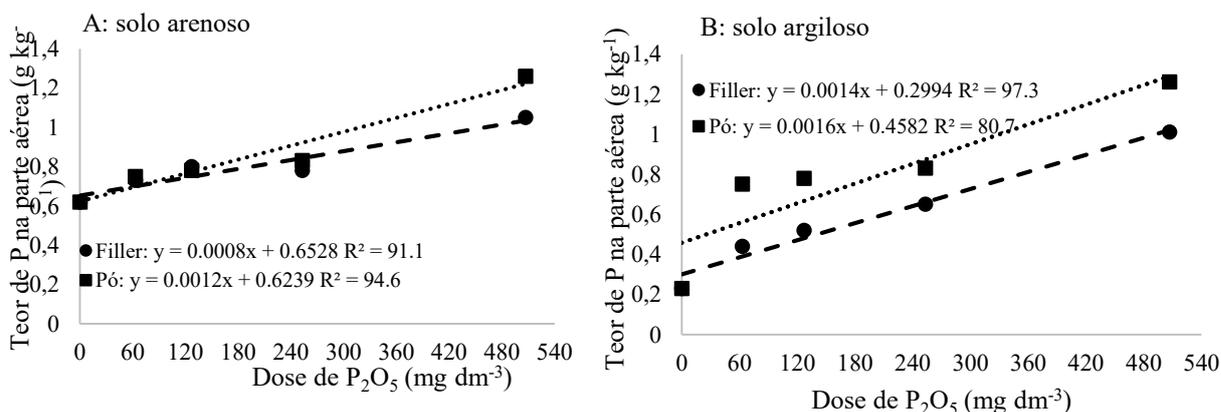


Figura 25. Teor de P na parte aérea do arroz cultivado em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

Ao se avaliar o teor de P acumulado nas plantas de arroz após o segundo cultivo, observa-se que a maior dose do kamafugito (507 mg dm⁻³ de P₂O₅) aplicada em solo de textura argilosa apresentou resultados superiores ao SFT, que é uma fonte solúvel (Tabela 22). Já para o solo de textura arenosa, todas as doses do kamafugito (63, 127, 253 e 507

mg dm⁻³ de P₂O₅) apresentaram resultados semelhantes ao SFT (127 mg dm⁻³ de P₂O₅) e maiores que a testemunha demonstrando novamente a liberação de P da fonte testada.

Tabela 22. Valores de P acumulado na parte aérea do arroz, colhido aos 102 DAS, cultivado em dois tipos de solo em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

Dose de P ₂ O ₅	P acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg vaso ⁻¹ -----					
SFT (253 mg dm ⁻³)	21,93			26,93		
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	27,66			33,68		
0	0,65			23,34		
Kamafugito (63)	3,17 ^{+ α}	4,25 ^{+ α}	3,71	26,72	24,87	25,80
Kamafugito (127)	4,42 ^{+ α}	7,44 ^{+ α}	5,93	30,26	25,38	27,82
Kamafugito (253)	11,1 ^{*+ α}	9,52 ^{*+ α}	10,31	28,12	29,26	28,69
Kamafugito (507)	27,8 [*]	28,7 [*]	28,25	46,09 ^{*+}	33,45	37,17
Médias	1,62 a	12,49 a		32,80 a	28,24 b	

Solo Argiloso: DMSTukey = 3,09; DMSDunnett_{test} = 8,65; DMSDunnett_{SFT} = 8,65; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 8,79; CV (%) = 35,7;

Solo Arenoso: DMSTukey = 4,59; DMSDunnett_{test} = 12,88; DMSDunnett_{SFT} = 12,88; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 12,63; CV (%) = 21,5.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

Este resultado promoveu um aumento linear nos teores de P acumulado com o aumento da dose de P₂O₅ proveniente do kamafugito nas duas granulometrias testadas (Figura 26).

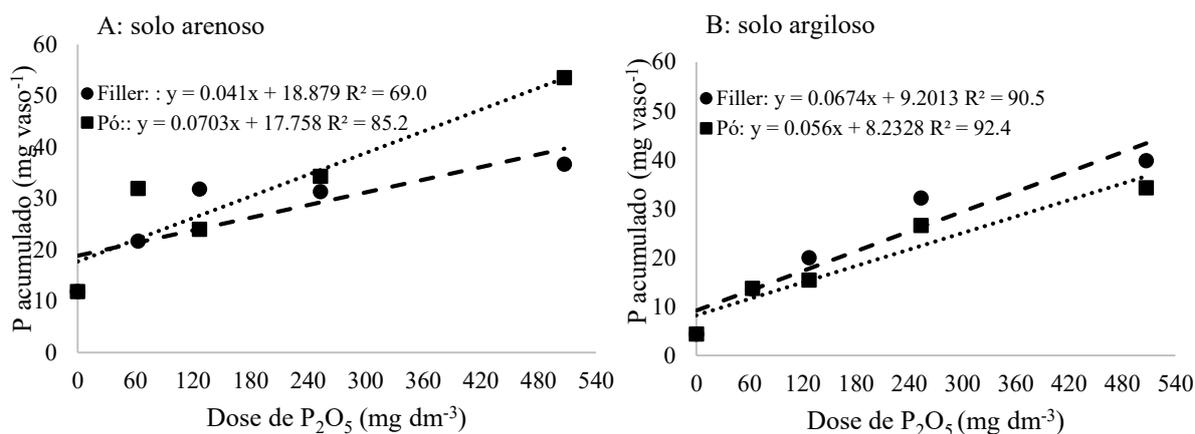


Figura 26. P acumulado na parte aérea de plantas de arroz colhidas aos 102 DAS, cultivadas em um RQo (A) e em um LVd (B), em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

13.2.3.3. Potássio no solo

No solo de textura argilosa (LVd), os teores de K nos tratamentos com kamafugito foram inferiores a testemunha (Tabela 23). Entretanto, apenas estes resultados não são suficientes para se avaliar se a fonte esta disponibilizando o nutriente, já que também é necessário analisar o quanto foi absorvido e acumulado pela planta. Os dados de MSPA mostraram maior produção de massa seca no 1º e 2º cultivo do arroz nos tratamentos com kamafugito e SFT+KCl (Tabela 23), aumentando assim a exigência da planta pelo K do solo, e consequentemente a extração, reduzindo o teor deste nutriente no solo.

Tabela 23. Teor de K em um RQo e LVd, extraído por Mehlich-1, em função da aplicação de doses de K₂O provenientes do kamafugito filler e pó, 244 dias após aplicação.

Dose de K ₂ O	K no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					
KCl (80 mg dm ⁻³)		58,8			15,8	
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)		7,8			4,3	
0		36,8			7,5	
Kamafugito (20)	14,0b* ⁺	31,5a* ⁺ α	22,8	7,8 ⁺	6,3 ⁺	7,0
Kamafugito (40)	11,0b* ⁺	25,3a* ⁺ α	18,1	6,8 ⁺	6,5 ⁺	6,6
Kamafugito (80)	8,0a* ⁺	9,0a* ⁺	8,5	8,3 ⁺ α	7,5 ⁺	7,9
Kamafugito (160)	8,5a* ⁺	7,0a* ⁺	7,8	7,0 ⁺	9,5 ⁺ α	8,3
Média	10,4	18,2		7,4 a	7,4 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 7,5; DMSDunnett_{KCl} = 10,5; DMSDunnett_{KCl} = 10,5; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 6,8; CV (%) = 19,1; Solo Arenoso: DMSTukey = 1,8; DMSDunnett_{KCl} = 4,9; DMSDunnett_{KCl} = 4,9; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 3,5; CV (%) = 29,4.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Devido o kamafugito ser uma fonte de menor solubilidade comparada ao KCl e o SFT, é quase certo que apesar de haver liberação de parte do K contida nesta fonte, essa quantidade não tenha sido suficiente para atender a plena exigência nutricional e demanda por essa cultura.

Tratando-se do KCl também foi observado o esgotamento do K no solo que recebeu SFT+KCl em função dos baixos teores de K no solo encontrados para esse tratamento em ambos os solos (Tabela 23). Assim, os maiores ganhos de produtividade gerados por esses tratamentos, contribuíram para maior extração do K no solo pelas plantas.

Enquanto que no solo de textura arenosa (RQo), não houve diferença nos teores de K no solo após o segundo cultivo (244 dias após a aplicação do kamafugito), entre os tratamentos que receberam kamafugito em pó e filler, comparado ao tratamento testemunha e SFT+KCl (Tabela 23). Acredita-se que a aplicação de SFT a todos os vasos deste solo no segundo cultivo promoveu um aumento na produtividade das plantas neste solo levando a um maior esgotamento do K, como vem se observando no solo LVd. Para o solo argiloso, a forma pó do produto se mostrou mais eficiente que a forma filler nas maiores doses de K₂O (80 e 160 mg dm⁻³), enquanto que para o solo de textura arenosa não houve diferença entre as granulometrias (Tabela 23).

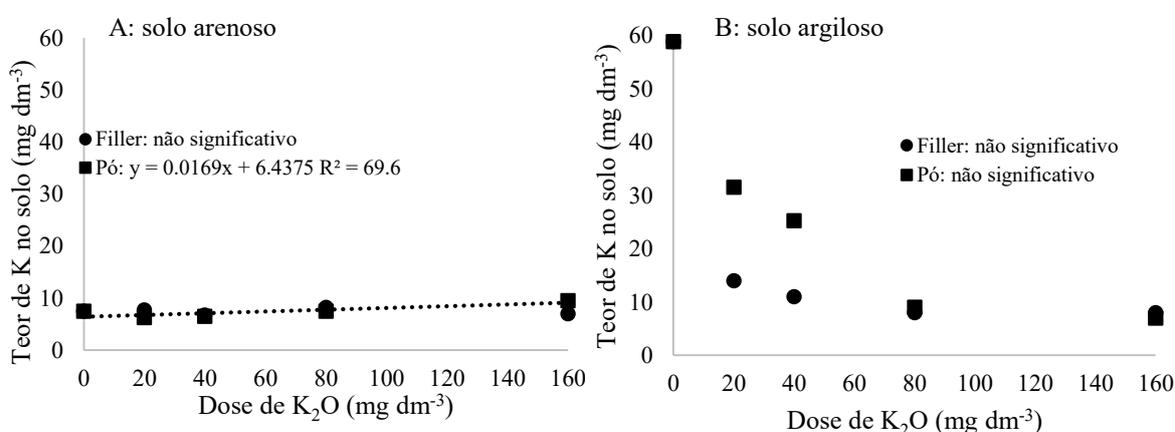


Figura 27. Teor de K em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó, 244 dias após a aplicação.

13.2.3.4. Potássio na planta

Os teores de K na parte aérea do arroz foram menores em relação ao tratamento com a fonte convencional (KCl) (Tabela 24). Assim como no primeiro cultivo, o aumento na dose do kamafugito promoveu uma redução nos teores de K na parte aérea do arroz, novamente demonstrando a diluição da concentração deste elemento na massa da planta, o que resultou em ajuste linear negativo (descrescente) para o pó nos solos argiloso e arenoso (Figura 27B). O mesmo efeito pode ser observado no tratamento positivo com SFT+KCl, onde a maior produção de massa seca promoveu uma maior diluição nos teores de K nas plantas.

Resultados semelhantes foram observados por Castro et al. (2006), que, ao compararem o KCl com várias rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio na

cultura do girassol, observaram teor de K foliar significativamente inferior nas plantas adubadas com as rochas em relação ao tratamento KCl. Da mesma forma, Silva et al. (2007), ao avaliarem doses crescentes de pó de basalto (2,5; 5; 10 e 20 t ha⁻¹), comparando-as ao KCl, encontraram maior teor de K nas plantas de feijão tratadas com KCl.

Além disso, conforme citado por Scivittaro et al. (2018), apesar da demanda de K pelo arroz irrigado ser tão ou mais elevada que a de N, podendo alcançar 15,9 kg de K por tonelada de grãos produzidos (BURESH et al., 2010), a resposta do arroz irrigado à aplicação de potássio não é tão marcante quanto a obtida para o nitrogênio, principalmente no cultivo inundado, no qual a disponibilidade do nutriente é maior, devido ao aumento da difusão, ao deslocamento do nutriente dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions NH⁴⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺ (MACHADO, 1985), e à liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural (CASTILHOS; MEURER, 1999a, 1999b; CASTILHOS et al., 1999).

Tabela 24. Teor de K na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 102 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose de K ₂ O mg dm ⁻³	K na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
KCl (80 mg dm ⁻³)	----- g kg ⁻¹ -----					
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)	23,4			16,4		
0	17,1			9,9		
Kamafugito (20)	18,9a ⁺ ^α	17,8a ⁺ ^α	18,4	5,9b ⁺	9,8a ⁺ ^α	7,8
Kamafugito (40)	16,5a ⁺ ^α	16,0a ⁺ ^α	16,3	9,3a ⁺ ^α	8,0a ⁺ ^α	8,6
Kamafugito (80)	8,5b* ⁺	13,5a ⁺ ^α	11,0	6,5a ⁺	8,9a ⁺ ^α	7,7
Kamafugito (160)	5,9a* ⁺	6,2a* ⁺	6,0	13,0a ⁺ ^α	5,0b ⁺	9,0
Média	12,4	13,4		8,7	7,9	

Solo Argiloso: DMSTukey = 3,1; DMSDunnett_{KCl} = 4,4; DMSDunnett_{KCl} = 4,4; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 4,29; CV (%) = 15,0;

Solo Arenoso: DMSTukey = 3,6; DMSDunnett_{KCl} = 5,0; DMSDunnett_{KCl} = 5,0; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 4,13; CV (%) = 27,0.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

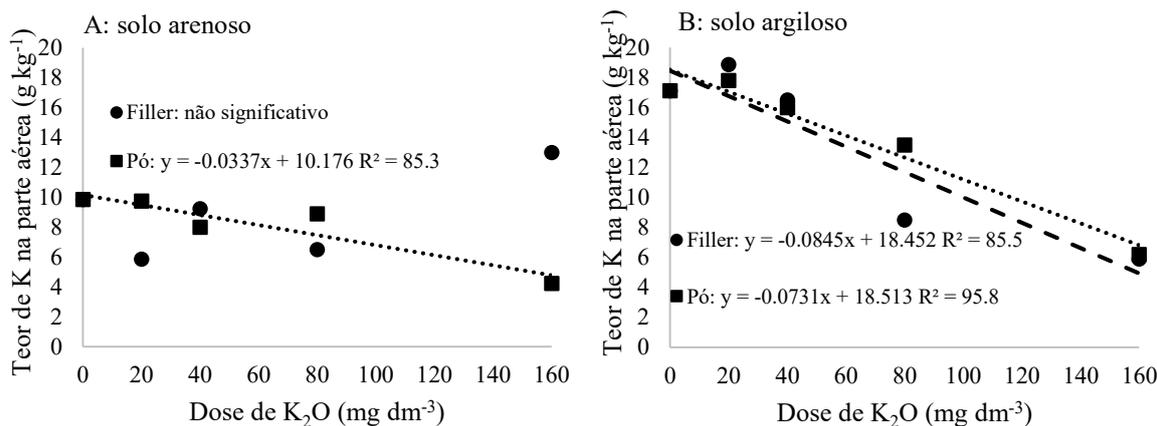


Figura 27. Teor de K na parte aérea do arroz cultivado em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó.

Ao se avaliar a quantidade de K acumulado na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em LVd, diferentemente do que foi observado quanto aos teores do nutriente no solo, a aplicação do kamafugito resultou em acúmulo do nutriente nas plantas (Tabela 25).

Tabela 25. Valores de K acumulado na parte aérea do arroz cultivado em dois tipos de solo, colhido 102 DAS.

Dose de K ₂ O	K acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg vaso ⁻¹ -----					
KCl (80 mg dm ⁻³)		72,9			624,8	
SFT + KCl (253 + 80 mg dm ⁻³)		249,4			138,3	
0		48,1			371,3	
Kamafugito (20)	133,7*	171,3* ⁺	152,5	234,4a ⁺	323,2a ⁺	273,8
Kamafugito (40)	136,9*	228,8* ⁺	182,9	351,2a ⁺	259,4a ⁺	305,3
Kamafugito (80)	139,9*	197,8* ⁺	168,9	239,4a ⁺	317,6a ⁺	278,5
Kamafugito (160)	158,0*	174,5* ⁺	166,3	586,4a ^α	114,2b ⁺	350,3
Médias	142,1 b	193,1 a		359,1	253,7	

Solo Argiloso: DMSTukey = 27,66; DMSDunnett_{test} = 77,56; DMSDunnett_{KCl} = 77,56; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 119,74; CV (%) = 25,9;

Solo Arenoso: DMSTukey = 185,39; DMSDunnett_{test} = 259,88; DMSDunnett_{KCl} = 259,88; DMSDunnett_{SFT + KCl} = 246,96; CV (%) = 37,0.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Em geral, pode-se observar que a aplicação da fonte testada em solos de textura argilosa no segundo cultivo resultou em quantidades de K acumulados na parte aérea

superiores ao tratamento com KCl, demonstrando, que a maior produção de massa resultou também em uma maior extração do K do solo. Observa-se que os tratamentos com kamafugito filler e pó, no solo argiloso, comparado ao KCl, promoveram os maiores valores de K acumulado, evidenciando o efeito positivo dessa fonte (Tabela 25).

Em relação ao solo arenoso, os valores mais altos de K acumulado da parte aérea possivelmente foram devidos a aplicação de P no início do ciclo em todos os tratamentos, favorecendo o crescimento das plantas e acúmulo de massa seca, até mesmo para a testemunha. Essa adição do nutriente pode ter camuflado possíveis resultados do kamafugito. Corroborando com os resultados desse trabalho, Castro et al. (2006) encontraram menor acúmulo de K nas plantas de girassol adubadas com pó de rochas em comparação ao KCl.

Não houve ajuste matemático do acúmulo de K nas plantas e o aumento das doses do remineralizador (Figura 28).

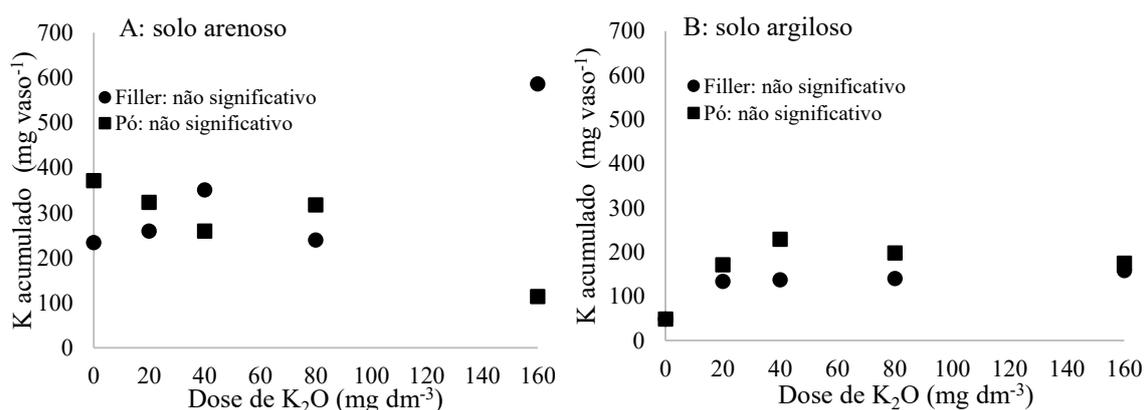


Figura 28. K acumulado na parte aérea de plantas de arroz, colhidas aos 102 DAS, cultivadas em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó.

13.2.3.5. Cálcio no solo e na planta

Observou-se que a aplicação apenas da maior dose de kamafugito filler e pó para o solo argiloso e pó para o solo arenoso, foi superior à testemunha, que recebeu doses de carbonato de cálcio durante a incubação, demonstrando o potencial de uso do kamafugito para aumentar os teores de Ca no solo (Tabela 26).

Tabela 26. Teor de Ca nos solos arenoso e argiloso, em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó, 256 dias após aplicação.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Ca no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	1,49			1,54		
1667	1,54	1,47	1,51	1,74	1,63	1,69
3334	1,52	1,49	1,51	1,61	1,74	1,67
6668	1,77	1,74	1,75	1,86	1,67	1,76
13336	1,79*	1,88*	1,84	1,84	2,07*	1,95
Média	1,65 a	1,64 a		1,76 a	1,77 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,1; DMSDunnett = 0,28; CV (%) = 7,73;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,17; DMSDunnett = 0,49; CV (%) = 12,08.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

À medida que se aumentou as doses do kamafugito, houve incremento no teor de Ca para o solo argiloso, independente da granulometria do material (Figura 29).

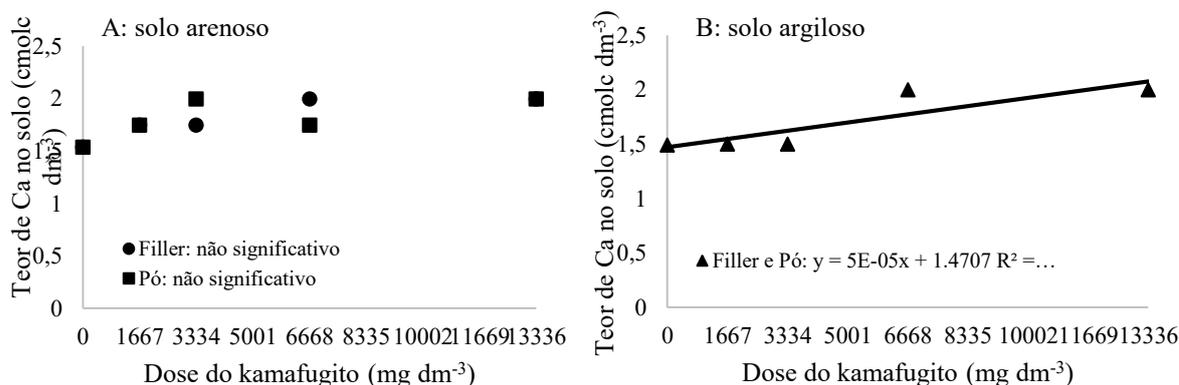


Figura 29. Teor de Ca em um RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Não houve diferença significativa no teor de Ca na parte aérea do arroz 2º cultivo em relação à testemunha, para nenhum dos solos e da granulometria do kamafugito (Tabela 27). Também não houve ajuste em função das doses aplicadas (Figura 30).

Tabela 27. Teor de Ca na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 102 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Ca na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	5,53			4,95		
1667	5,78	5,45	5,61	4,78	4,48	4,63
3334	5,93	5,80	5,86	4,78	5,18	4,96
6668	5,4	4,93	5,16	4,78	5,25	5,0
13336	5,75	5,75	5,75	5,50	5,05	5,3
Média	5,71 a	5,48 a		4,94 a	4,99 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,4; DMSDunnett = 1,12; CV (%) = 9,2;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,36; DMSDunnett = 1,0; CV (%) = 9,55.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

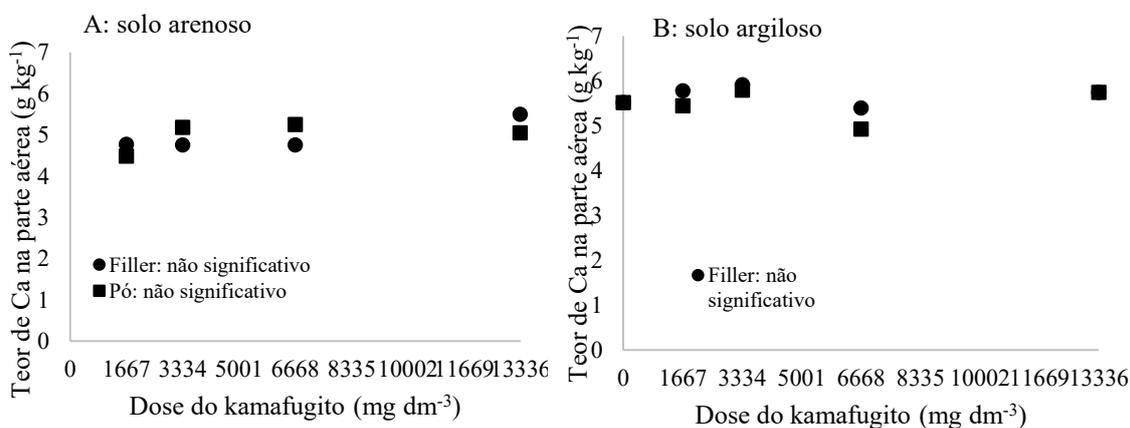


Figura 30. Teor de Ca na parte aérea do arroz cultivado em um RQo (A) e LVd (B) em função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Para o solo argiloso observou-se maior acúmulo de Ca na parte aérea das plantas quando houve aplicação de 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³ do kamafugito na forma pó e nas duas maiores doses (6668 e 13336 mg dm⁻³) na forma filler, em relação a testemunha, demonstrando o bom efeito residual do produto e sua eficácia em aumentar os teores do nutriente acumulado nas plantas de arroz (Tabela 28).

Tabela 28. Valores de Ca acumulado na parte aérea do arroz cultivado em dois tipos de solo (RQo e LVd) colhido 102 DAS em função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Ca acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	15,5			188,7		
1667	41,9	51,3	46,6	175,2a	145,8a	160,5
3334	50,5	81,1*	65,8	180,7a	169,0a	174,9
6668	89,9*	76,8*	83,4	170,3a	183,7a	177,0
13336	158,7*	163,2*	161,0	238,9a	136,7b	187,8
Médias	85,2 a	93,1 a		191,3	158,8	

Solo Argiloso: DMSTukey = 14,59; DMSDunnett = 40,89; CV (%) = 25,9;

Solo Arenoso: DMSTukey = 24,24; DMSDunnett = 67,96; CV (%) = 17,8.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Em relação ao solo de textura arenosa, devido ao acúmulo de massa seca da testemunha devido à aplicação de P, citada anteriormente, não houve diferença entre os tratamentos e a testemunha quanto ao acúmulo de Ca (Tabela 28).

Para o solo arenoso, à medida que se aumentou as doses do kamafugito, observou-se incremento linear nos valores de Ca acumulado nas plantas, com aumento, em média, de 0,01 mg de Ca a cada 1 mg dm⁻³ do remineralizador (Figura 31A).

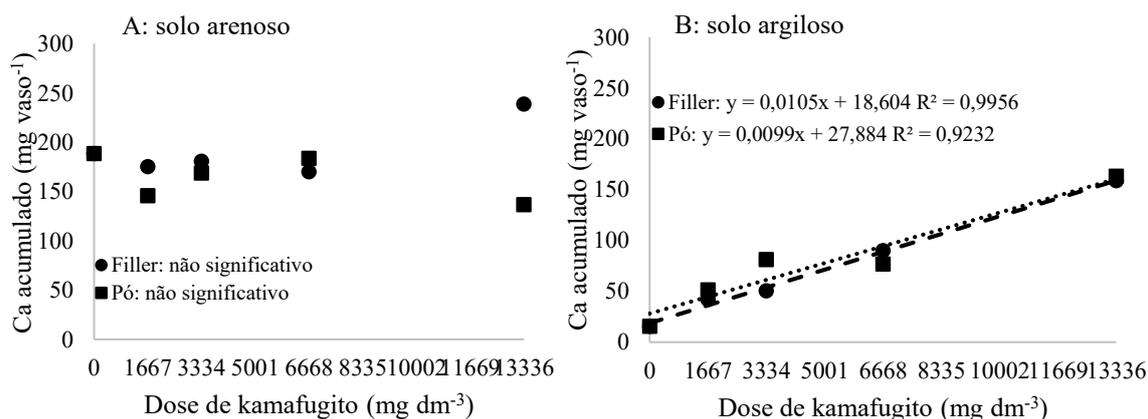


Figura 31. Ca acumulado nas plantas de arroz colhidas aos 102 DAS, cultivadas em um RQo (A) e em um LVd (B), em função de doses crescentes do kamafugito fértil filler e pó.

13.2.3.6. Magnésio no solo e na planta

Os dados da Tabela 29 demonstraram não haver diferença nos teores de Mg no solo entre as granulometrias do kamafugito filler e em pó, e também com o aumento das doses (Figura 32). Por outro lado, os teores do nutriente no solo mesmo após os dois cultivos, mantiveram-se próximos aos níveis obtido após ter recibo esse nutriente como carbonato de magnésio, o que classifica esse solo como “BOM/MUITO BOM”, conforme a classe de interpretação proposta na 5ª aproximação (RIBEIRO, 1999).

Tabela 29. Teor de Mg nos em dois tipos de solo, em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó, 244 dias após aplicação.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Mg no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	2,0			1,80		
1667	1,87	1,68	1,77	1,78	2,09	1,94
3334	1,59	1,53	1,56	1,63	1,89	1,76
6668	1,66	1,77	1,72	1,83	1,50	1,66
13336	1,53	1,65	1,59	1,64	1,84	1,74
Média	1,66 a	1,65 a		1,72 a	1,82 a	

Solo Argiloso: DMS_{Tukey} = 0,2; DMS_{Dunnett} = 0,56; CV (%) = 16,5;

Solo Arenoso: DMS_{Tukey} = 0,2; DMS_{Dunnett} = 0,9; CV (%) = 9,3;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

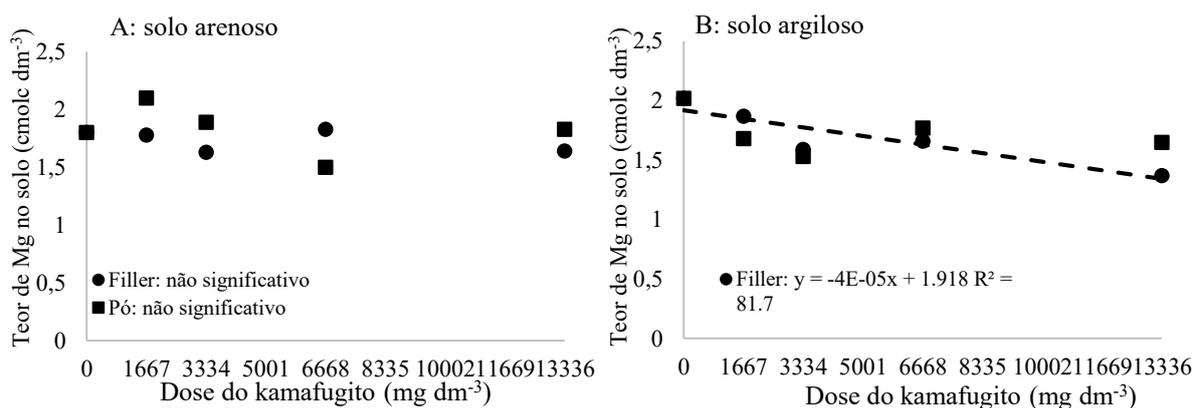


Figura 32. Teor de Mg em um RQo (A) e um LVd (B) em função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Em relação ao teor de Mg na parte aérea do arroz, observou-se, para o solo arenoso (RQo), que o kamafugito pó proporcionou acréscimo em todas as doses testadas em relação a testemunha, enquanto que para o kamafugito filler esse aumento foi observado

nas doses de 3334 e 6668 mg dm⁻³ do produto (Tabela 30). Um ajuste quadrático foi obtido para o solo argiloso com as duas fontes de kamafugito (Figura 33A).

Tabela 30. Teor de Mg na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 102 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Mg na planta					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	5,73			3,78		
1667	4,27a	4,83a	4,54	4,51b	5,21a*	4,86
3334	4,10b	6,08a	4,67	4,92b*	5,55a*	5,24
6668	4,11a	4,67a	4,39	5,39a*	5,49a*	5,44
13336	5,30a	5,43a	5,37	4,29b	5,70a*	5,00
Média	4,44	5,25		4,78	5,49	

Solo Argiloso: DMSTukey = 1,17; DMSDunnett = 1,63; CV (%) = 17,8;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,62; DMSDunnett = 0,87; CV (%) = 8,6.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

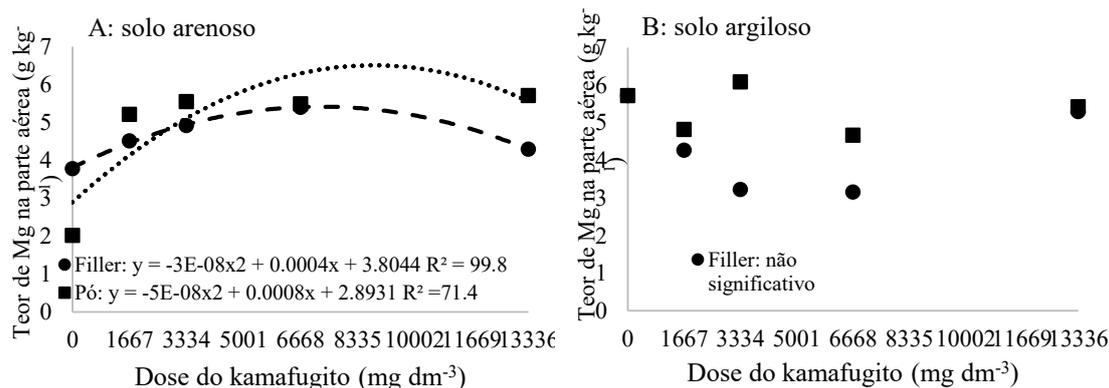


Figura 33. Teor de Mg na parte aérea do arroz cultivado em um RQo (A) e em um LVd (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

A utilização do kamafugito, independente da dose utilizada, ocasionou aumentos nos teores de Mg acumulado na parte aérea de plantas de arroz quando comparado às plantas cultivadas no tratamento sem a aplicação dos produtos (Tabela 31).

Tabela 31. Valores de Mg acumulado na parte aérea do arroz cultivado em dois tipos de solo (RQo e LVd) colhido 102 DAS e função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

Dose de Kamafugito mg dm ⁻³	Mg acumulado					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	16,1			142,6		
1667	30,3a	45,5a	37,9	162,3	172,9	167,6
3334	35,1b	40,4a	37,8	187,1	180,8	184,0
6668	68,5a	86,3a*	77,4	191,1	194,0	192,6
13336	147,1a*	153,4a*	150,3	189,6	154,3	172,0
Médias	70,3	81,4		182,5 a	175,5 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 28,73; DMSDunnett = 39,80; CV (%) = 29,6;

Solo Arenoso: DMSTukey = 26,50; DMSDunnett = 73,35; CV (%) = 20,7.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No solo de textura argilosa, observou-se acréscimos de aproximadamente 9 vezes nos teores de Mg acumulado em plantas de arroz cultivadas sob a maior dose do kamafugito (13336 mg dm⁻³) quando comparadas àquelas cultivadas sem a aplicação da fonte. Para o solo de textura arenosa, melhores resultados foram observados com a aplicação da fonte na dose 6668 mg dm⁻³ (Tabela 31). No solo arenoso, as duas granulometrias do kamafugito apresentaram ajuste linear positivo para este elemento (Figura 34B).

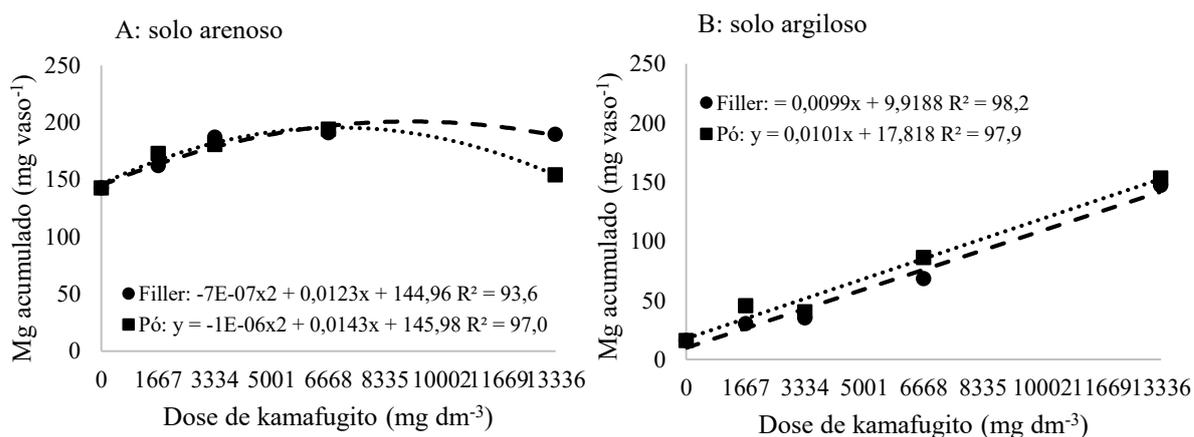


Figura 34. Mg acumulado nas plantas de arroz colhidas aos 102 DAS, cultivadas em um RQo (A) e em um LVd (B), em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

13.2.4. pH do solo

Assim como observado no primeiro cultivo, a aplicação do kamafugito promoveu o aumento dos valores de pH no solo de textura argilosa, também no 2º cultivo, principalmente nas maiores doses (6668 e 13336 mg dm⁻³) (Tabela 32). Nesse sentido, com os resultados obtidos neste estudo, ressalta-se o potencial de uso agrícola do kamafugito em solos tropicais, uma vez que são solos de elevada acidez. Não houve diferenças para ambos os solos, quanto a aplicação do kamafugito na granulometria filler ou pó quanto aos valores de pH.

Tabela 32. Valores de pH de um RQo e um LVd, 244 dias após aplicação de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Dose Kamafugito mg dm ⁻³	pH CaCl ₂					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0		4,21			5,02	
1667	4,38	4,53	4,45	4,89*	5,03*	4,96
3334	4,46	4,51	4,49	5,02*	4,97*	4,99
6668	4,60*	4,72*	4,66	5,02*	5,06*	5,04
13336	4,62*	4,66*	4,64	5,24*	5,09*	5,17
Média	4,51 a	4,60 a		5,04 a	5,04 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,12; DMSDunnett = 0,34; CV (%) = 3,7;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,14; DMSDunnett = 0,40; CV (%) = 3,8;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * diferem pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

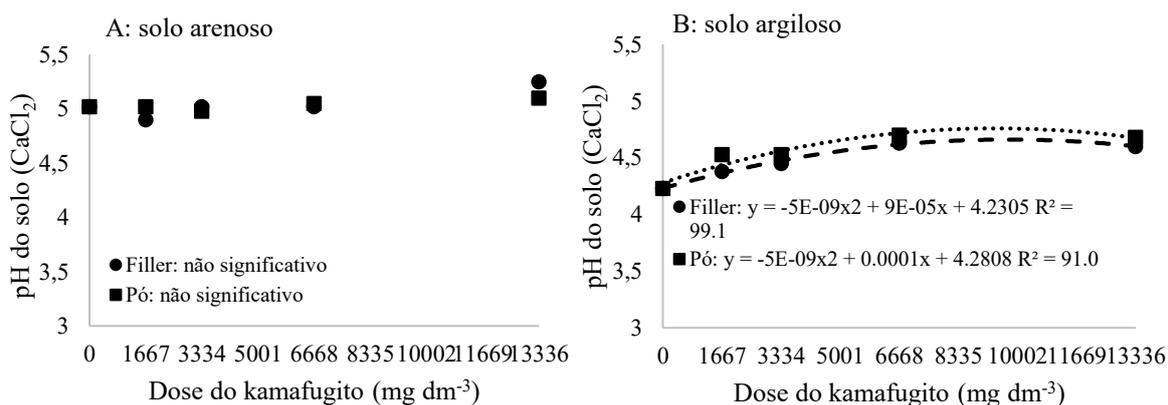


Figura 35. Valores de pH de um RQo e um LVd em função de doses crescentes dos produtos kamafugito filler e pó.

13.3. Braquiária (*Urochloa brizantha*) - 1º e 2º cortes

13.3.1. Massa seca da parte aérea (MSPA)

A massa seca da braquiária no 1º corte apresentou incremento significativo para a maioria das doses, em ambas as granulometrias, em relação à testemunha com exceção das doses de 3334 e 13336 mg dm⁻³ do kamafugito na forma pó no solo arenoso (Tabela 33). Verificou-se que, para o solo arenoso, o produto na forma filler nas maiores doses proporcionou valores de massa seca semelhantes aos dos padrões SFT e KCl + SFT, sendo superior ao tratamento controle com apenas KCl. Para o solo argiloso o kamafugito se mostrou inferior ao tratamento controle KCl + SFT (Tabela 33).

Tabela 33. Massa seca da parte aérea da brachiaria cultivada em um RQo e em um LVd, colhida aos 40 e 80 DAS e total, em função da aplicação de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamfugito filler e pó.

Dose P ₂ O ₅	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte (40 DAS)						
mg dm ⁻³	----- g -----					
1667	9,12 a* ^α	9,15 a* ^α	9,13	12,49 * ⁺	11,11 * ^{β α}	11,80
3334	9,15 a* ^α	7,80 a* ^{β α}	8,48	10,93 * ^β _α	9,69 β ^α	10,31
6668	8,14 b* ^{β α}	10,32 a* ^α	9,23	13,29 * ⁺	11,35 * ^{β α}	12,31
13336	8,75 a* ^{β α}	8,24 a* ^{β α}	8,49	12,73 * ⁺	9,84 β ^α	11,29
Médias	8,79	8,88		12,36 a	10,50 b	
Testemunha (0)	5,31			8,16		
KCL (80)	9,68			9,62		
SFT (253)	11,55			14,72		
SFT + KCl (253 + 80)	15,01			14,79		
Solo argiloso: DMS _{tukey} = 1,66; DMS _{test} = 2,33; DMS _{KCl} = 2,33; DMS _{SFT} = 2,48; DMS _{SFT+KCl} = 3,05; CV (%) = 13,39.						
Solo arenoso: DMS _{tukey} = 0,92; DMS _{test} = 2,57; DMS _{KCl} = 2,57; DMS _{SFT} = 2,56; DMS _{SFT+KCl} = 2,46; CV (%) = 11,59						
2º corte (80 DAS)						
1667	8,61 b ^{+ β α}	11,90 a* ^{+ α}	10,26	11,63	9,73 ^{+ α}	10,68
3334	13,27 a* ⁺	12,22 a* ^{+ α}	12,75	12,59 * ^β	10,89	11,74
6668	14,71 a*	15,47 a*	15,09	11,90 * ^β	10,66	11,28
13336	18,22 a* ^β	17,87 a* ^β	18,04	15,52 * ^β	15,66 * ^β	15,59
Médias	13,70	14,37		12,91 a	11,73 b	
Testemunha(0)	8,73			8,98		
KCL (80)	16,70			12,85		
SFT (253)	13,74			9,02		
SFT + KCl (253 + 80)	16,30			13,21		
Solo argiloso: DMS _{tukey} = 2,13; DMS _{test} = 2,99; DMS _{KCl} =2,99 ; DMS _{SFT} = 2,91; DMS _{SFT+KCl} = 3,10; CV(%) = 10,67						
Solo arenoso: DMS _{tukey} = 1,15; DMS _{test} = 2,91; DMS _{KCl} = 2,91; DMS _{SFT} = 2,82; DMS _{SFT+KCl} = 2,79; CV (%) = 13,06						

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre Si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

*Difere da testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

⁺ Difere do tratamento com KCl pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

^β Difere do tratamento com SFT pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

^α Difere do tratamento com SFT + KCl pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade

A aplicação do kamafugito filler e pó proporcionou maiores valores de massa seca da brachiaria no 2º corte, sendo que nas maiores doses de kamafugito houve acréscimo significativo em relação a testemunha (Tabela 33). Em geral, nessas mesmas doses para ambos os solos, os valores de MSPA foram semelhantes ou superiores aos tratamentos controle KCl, SFT e SFT + KCl, demonstrando o bom poder residual do produto, incrementando ao longo do tempo a produção de massa seca das plantas em relação ao 1º corte. Para o solo argiloso a forma pó foi mais eficiente em incrementar os valores de

massa seca em todas as doses, já para o solo arenoso a forma filler se sobressaiu em relação a pó, independente da dose do remineralizador.

Aos 40 DAS, a aplicação de 6668 mg dm⁻³ do produto na forma filler em solo arenoso proporcionou os maiores valores de MS, que se aproximaram dos valores de MS do tratamento padrão positivo SFT + KCl (Tabela 11). Aos 80 DAS em solo argiloso e arenoso, nas maiores doses de kamafugito, os valores de massa seca foram superiores ao tratamento padrão SFT + KCl, independentemente da forma do produto (Tabela 33). Após o segundo corte, esses valores variaram, em média para ambas as formas de kamafugito, de 10 a 18 g vaso⁻¹ para o solo argiloso e de 11 a 16 g vaso⁻¹ para o solo arenoso. Esse resultado demonstra o bom efeito residual do produto quando comparado ao primeiro corte, aumentando a produção de matéria seca da planta ao longo do tempo.

Para as plantas do primeiro cultivo da brachiaria, houve ajuste significativo das doses de kamafugito apenas para o produto na forma pó no solo argiloso, sendo que a melhor dose para o incremento de MSPA da brachiaria ficou entre aproximadamente 5500 e 6000 mg dm⁻³ de kamafugito (Figura 36).

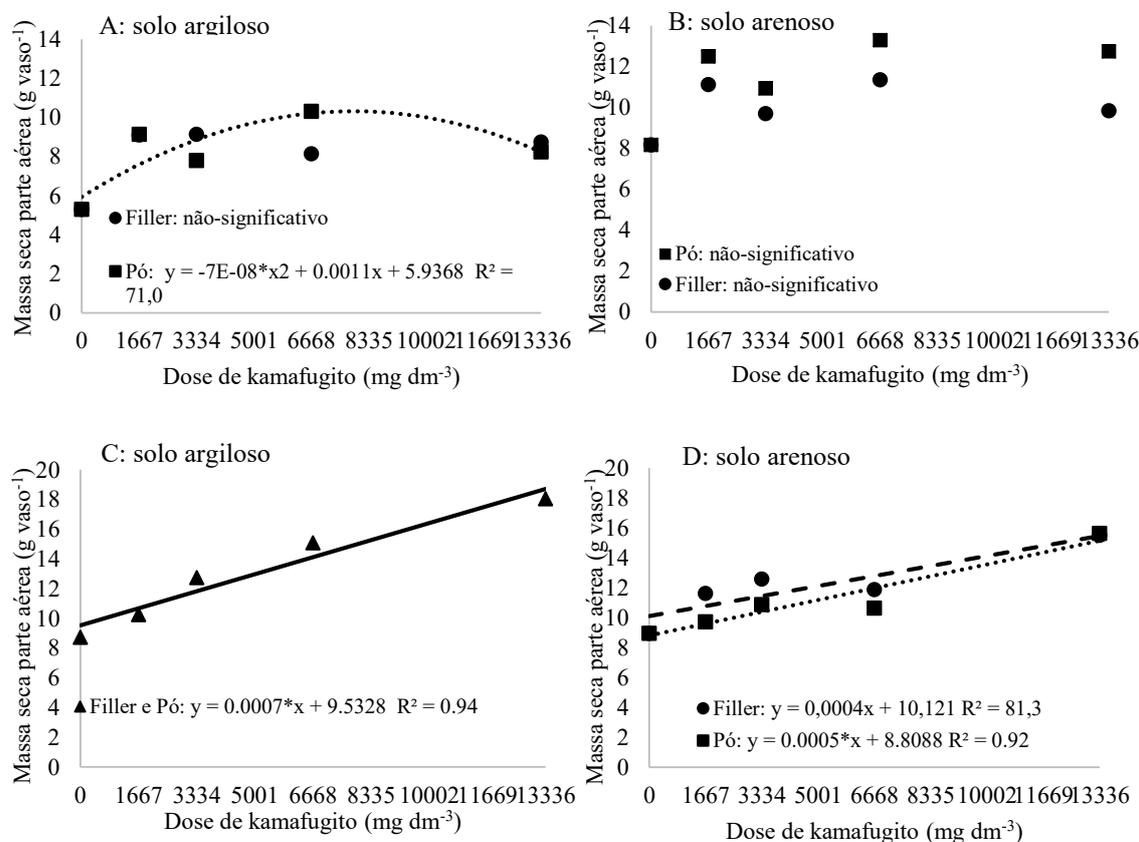


Figura 36. Massa seca do 2º corte da brachiaria colhida aos 40 DAS em um LVd (A) e RQo (B) e aos 80 DAS em um LVd (C) e RQo (D) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

À medida que se aumentou as doses de kamafugito filler e pó observou-se acréscimo na MSPA das plantas do segundo cultivo em ambos os solos (Figura 36). Para o solo argiloso houve aumento, em média, de 0,6 mg na MSPA a cada 1 mg dm⁻³ kamafugito aplicado via filler e pó sendo o remineralizador o na forma pó maior comparado ao filler na menor dose (1667 mg dm⁻³).

Já para o solo arenoso verificou-se aumento de, em média, 0,0004 g na MSPA para cada 1 mg dm⁻³ de kamafugito adicionado na forma filler, e 0,5 mg na MSPA para cada 1 mg dm⁻³ de kamafugito adicionado na forma pó (Figura 36).

Tanto o SFT quanto o KCl são fontes solúveis com alta disponibilidade de nutrientes. Além disso, o SFT fornece o P mais rápido que o agromineral, favorecendo a produção de massa seca do primeiro cultivo, embora o kamafugito tenha se mostrado mais eficiente em aumentar a massa seca das plantas ao longo do tempo. A aplicação de fertilizantes de liberação lenta, como o kamafugito, pode suprir a demanda por nutrientes da cultura após ciclos consecutivos (RESENDE et al., 2006). Assim, a liberação de nutrientes das rochas é lenta e gradual, o que reduz as perdas de nutrientes por lixiviação, como o K, e resulta em uma liberação de longo prazo (MARTINS et al., 2015). Segundo Novais e Smyth (1999), fertilizantes com menor reatividade aumentam lentamente a disponibilidade de P, minimizando os processos de fixação e melhorando o aproveitamento dos nutrientes pelas culturas.

Nas figuras 34 e 35 estão ilustradas as imagens dos experimentos no solo arenoso (RQo) e argiloso (LVd) obtidos no primeiro cultivo da brachiaria.

(A)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito - Filler (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

(B)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito- Pó (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

Figura 34. Plantas de brachiaria cultivadas em um RQo em função de doses crescentes de kamafugito Filler (A) e Pó (B).

(A)



Testemunha	KCl	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito- Filler (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

(B)



Testemunha	KCl	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito- Pó (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

Figura 35. Plantas de brachiaria cultivadas em um LVd em função de doses crescentes de kamafugito filler (A) e pó (B).

Nas figuras 36 e 37 estão ilustradas as imagens dos experimentos no solo argiloso (LVd) e arenoso (RQo) obtidos no segundo cultivo da brachiaria.

(A)



Testemunha	KCl	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito- Filler (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

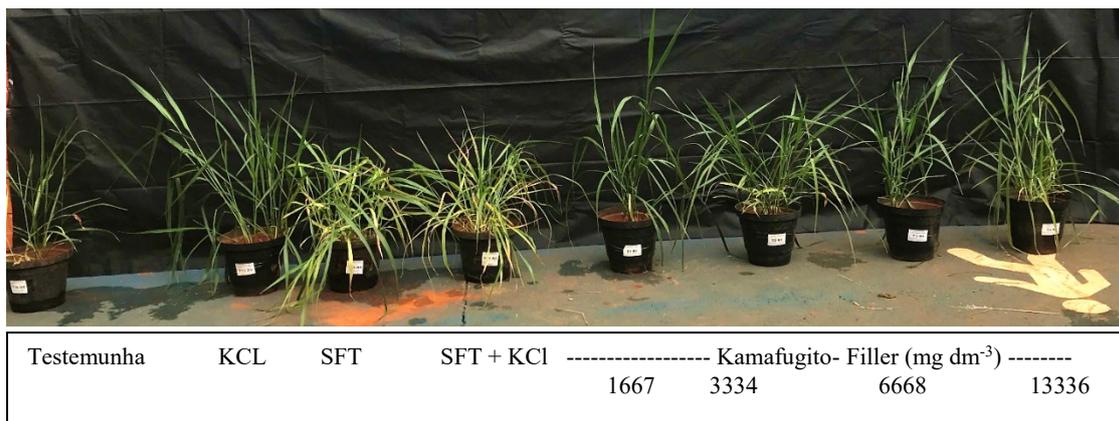
(B)



Testemunha	KCL	SFT	SFT + KCl	-----	Kamafugito- Pó (mg dm ⁻³)	-----	
				1667	3334	6668	13336

Figura 37. Plantas de brachiaria cultivadas em um RQo em função de doses crescentes de kamafugito filler (A) e pó (B).

(A)



(B)

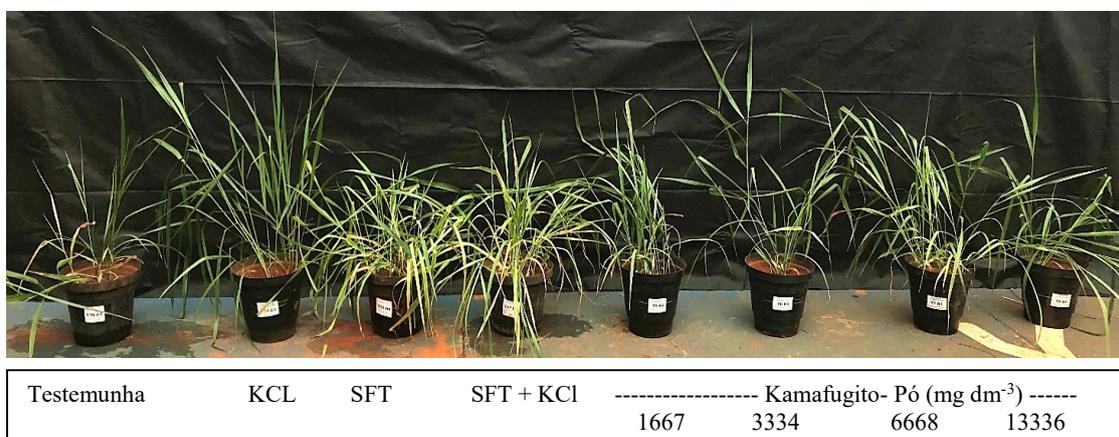


Figura 38. Plantas de brachiaria cultivadas em um LVd em função de doses crescentes de kamafugito filler (A) e pó (B).

13.3.2. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) – SFT

Os valores do IEA em relação ao tratamento com SFT foram bastante expressivos para o 1º corte da brachiaria, uma vez que nesse menor período de tempo já era esperado que as fontes convencionais se sobressaíssem por serem mais solúveis e reativas, fornecendo de maneira mais rápida os nutrientes para as plantas. Entretanto, verificou-se uma eficiência de aproximadamente 80% para o kamafugito pó no solo argiloso e 65% para o filler no solo arenoso, na dose equivalente ao P do SFT, evidenciando o potencial do kamafugito no fornecimento de P para as plantas (Figura 39).

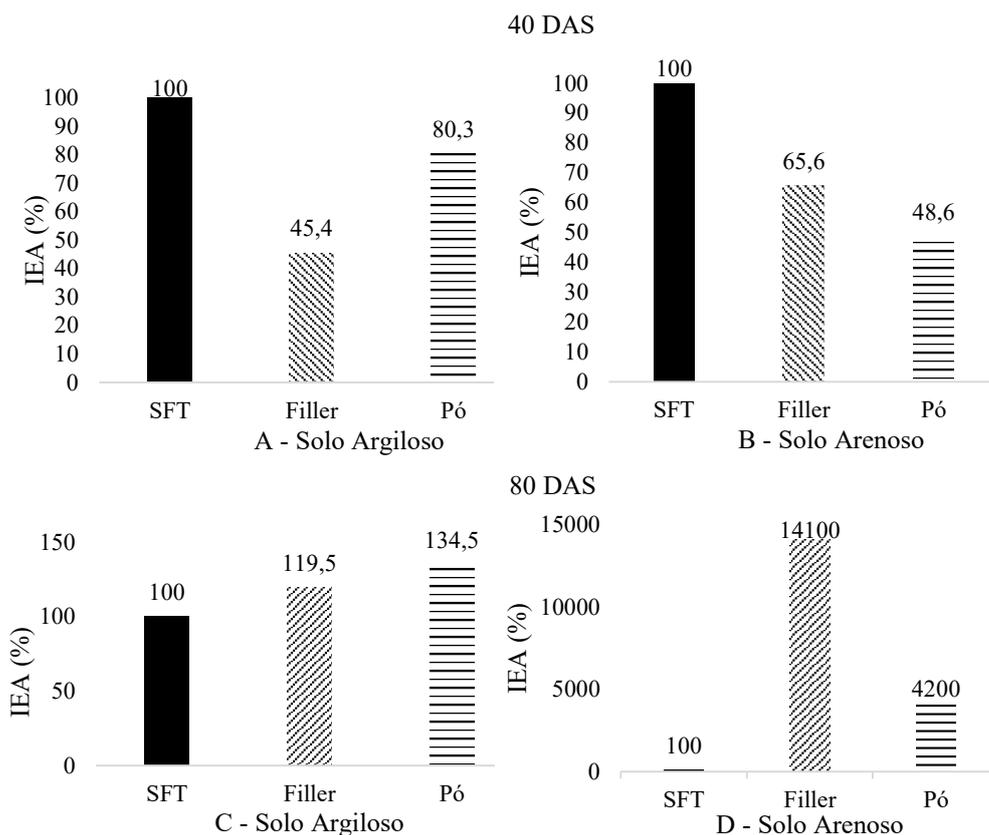


Figura 39. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó em relação ao SFT em um LVd (A) e em um RQo (B) no primeiro cultivo da brachiaria (40 DAS), em um LVd (C) e em um RQo (D) no segundo cultivo (80 DAS).

Observou-se maior eficácia do kamafugito na forma pó no solo arenoso e do kamafugito na forma filler no solo argiloso (Figura 39). Isso ocorre devido a maior superfície específica das partículas do produto na forma filler, proporcionando maior fixação do P presente no produto pelo solo com maior teor de argila e maior capacidade de troca. Já no solo arenoso, com baixa CTC, a granulometria mais fina do filler proporciona maior superfície de troca, favorecendo a liberação de P para o solo e consequente absorção do nutriente pelas plantas.

Em relação ao IEA para o 2º corte a brachiaria em relação ao tratamento controle SFT, observou-se aumento dos valores em relação ao 1º corte. Na segunda colheita os valores do kamafugito ultrapassaram a fonte padrão SFT (> 100%) em ambos os solos (Figura 39). Isso mostra o poder residual do produto, o qual libera o P para o solo de forma mais gradativa, favorecendo a absorção pelas plantas e consequentemente sua produção de massa seca. O P presente no SFT é fornecido mais rapidamente, favorecendo a primeira brotação da brachiaria, mas com o tempo o kamafugito se mostrou mais eficiente em incrementar a massa seca das plantas.

É importante notar também que no solo argiloso há um melhor desempenho do kamafugito na forma pó e o contrário é observado no solo arenoso (Figura 39). Isso se deve a granulometria mais fina do filler, favorecendo a fixação do P presente no produto no solo argiloso, o qual possui maior CTC e poder de adsorção. Já no solo arenoso o produto na forma filler sobressai em relação ao pó uma vez que nesse solo há menos poder de adsorção e fixação do P liberado pela fonte, que por possuir maior superfície específica (granulometria mais fina) favorece a liberação do nutriente para o solo e consequente aproveitamento pelas plantas.

13.3.3. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) - KCl

Os valores do IEA do primeiro cultivo da brachiaria dos tratamentos com o kamafugito em comparação com o tratamento padrão KCl se mostraram superiores (>100%) para ambas as formas filler e pó no solo arenoso, já para o solo argiloso apenas a forma filler não demonstrou esse comportamento mas obteve um valor bom (64,8%) em relação ao KCl já que esta última é uma fonte bastante solúvel (Figura 40).

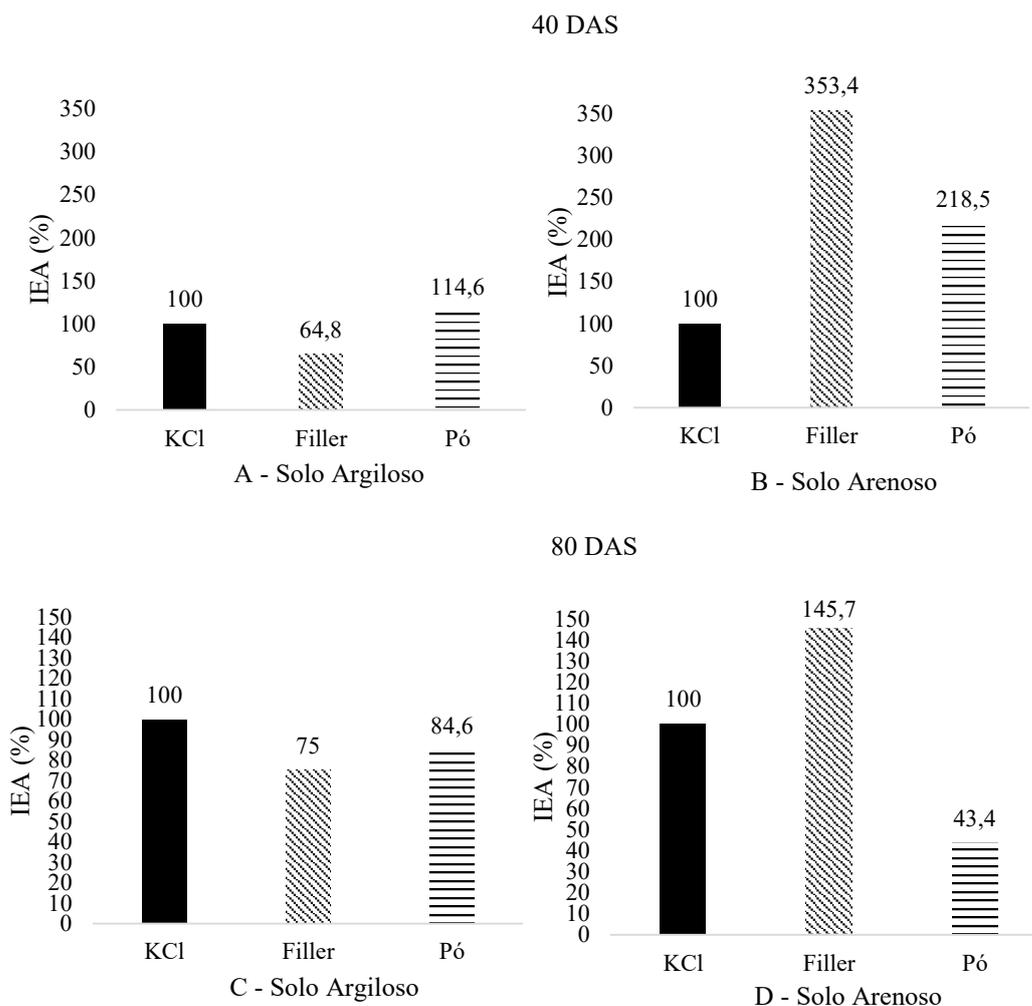


Figura 40. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó em relação ao KCl em um LVd (A) e em um RQo (B) no primeiro cultivo da brachiaria, em um LVd (C) e em um RQo (D) no segundo cultivo.

Os valores do IEA observados para o 2º corte da brachiaria em relação ao tratamento controle KCl demonstraram um alto potencial do kamafugito em fornecer K para as plantas, ficando bem próximos de 100% em ambos os solos e até mesmo sobressaindo (>100%) a fonte padrão KCl na forma filler para o solo arenoso (Figura 40 C e D). A granulometria mais fina do produto na forma filler possivelmente possibilita maior adsorção e troca do nutriente na CTC do solo, uma vez que possui maior superfície específica, contribuindo para menor perda do K por lixiviação.

A liberação gradativa do nutriente para o solo e o alto poder residual do produto são características que contribuem para esse comportamento. Sabe-se que o K é um nutriente que se perde muito por lixiviação quando aplicado via KCl, principalmente em solos de textura arenosa, assim, o produto se sobressai em relação a fonte padrão por

liberar o nutriente de forma gradativa e não estar associado ao elemento Cl^- , o qual contribui para a lixiviação do K. Esses resultados evidenciam o grande potencial do kamafugito no fornecimento de K para as plantas.

Segundo Raij (1982), uma das condições indispensáveis à lixiviação de cátions no solo é a presença de ânions solúveis, tais como Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , OAc^- , OFor^- e HCO_3^- . Mesmo os cátions monovalentes, Na^+ e K^+ , são lixiviados somente na companhia de ânions solúveis. Isto explica a facilidade com que o K na forma de fertilizante KCl, quando aplicado no solo, é rapidamente lixiviado pela água de chuva. Deste modo, em solos minerais ácidos, a lixiviação de cátions segue a ordem: $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Al}^{3+}$.

Além disso, o kamafugito, por ser uma fonte natural de nutrientes, isenta de processos químicos para sua obtenção, com pH mais alcalino, é um produto benéfico a microbiota do solo, não diminuindo e até mesmo estimulando a atividade microbiana no solo. Tais microorganismos são de suma importância para um melhor desenvolvimento das plantas, e para a intemperização dos minerais da rocha, e conseqüentemente liberação dos nutrientes para o solo. Estes benefícios possivelmente afetam de maneira positiva o desenvolvimento radicular e o crescimento das plantas, em relação, principalmente, a fontes com maior índice salino, que acidificam o meio e com a presença de elementos potencialmente tóxicos e prejudiciais as plantas quando em excesso, como o Cl^- presente no KCl.

O KCl é a fonte de K mais utilizada em todo o mundo. No entanto, o acúmulo de íons no solo devido a aplicação de fertilizantes pode resultar em grandes aumentos na salinidade do solo, causando danos as plantas e outros organismos presente no solo (VIEIRA-MEGDA et al., 2014). Efeitos do acúmulo excessivo de sais solúveis em plantas e microrganismos podem ser amplificado pela má absorção de água, induzindo estresse hídrico. Esta amplificação é facilitada pela toxicidade de íons específicos, como Cl^- e pela interferência de sais em processos fisiológicos (RIETZ & HAYNES, 2003). Excesso de Cl^- no protoplasma interrompe a célula função, afetando a cadeia respiratória, captação de N, e metabolismo de proteínas (LARCHER, 2000; MUNNS, 2002).

Estudos realizados em laboratório e no campo mostraram que ânions Cl^- , mesmo em baixa concentrações, podem inibir processos importantes como amonificação e nitrificação no solo (SOURI, 2010; VIEIRA-MEGDA et al., 2014 e 2015; MARIANO et al., 2016). Assim, a busca por fontes alternativas do nutriente, com baixo índice salino e ausência de Cl^- é de grande relevância, sendo útil na gestão do fertilização potássica e melhoria da qualidade e no equilíbrio da microbiota do solo, que é tão importante na

ciclagem de nutrientes no solo e no desenvolvimento das plantas.

Considerando as bases sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade, a utilização de fontes alternativas de nutrientes, que sejam de fácil aquisição regional, que promovam a descentralização de mercados, reduzam os riscos de lixiviação de nutrientes e que sejam energeticamente menos dispendiosas que as fontes convencionais, pode ser uma estratégia adicional na busca de uma maior sustentabilidade agrícola (THEODORO & LEONARDOS, 2006; MOHARANA & BISWAS, 2016).

13.3.4. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) – SFT + KCl

Em relação aos valores de IEA, na dose equivalente de P e K, dos tratamentos com o kamafugito em comparação com o tratamento padrão completo, SFT + KCl, notou-se que apesar de valores inferiores (< 100%), para o 1º corte da brachiaria o produto apresentou bons índices uma vez que o tratamento completo com SFT e KCl possuem maior solubilidade e fornece os nutrientes P e K de maneira mais imediata para as plantas (Figura 41).

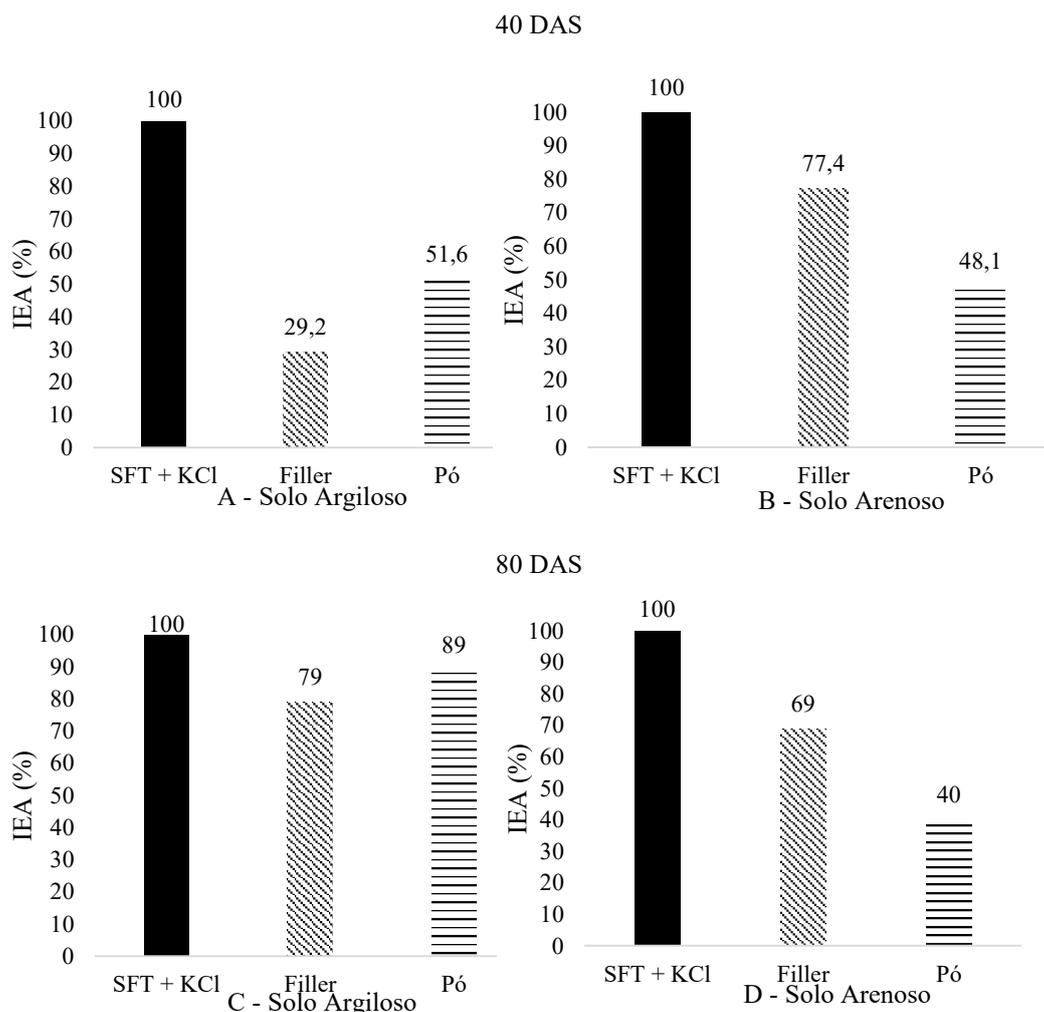


Figura 41. Índice de eficiência agrônômica do kamafugito filler e pó em relação ao KCl em um LVd (A) e em um RQo (B) no primeiro cultivo da brachiaria, em um LVd (C) e em um RQo (D) no segundo cultivo da cultura.

Os valores de IEA do 2º corte da brachiaria abaixo demonstraram boa eficiência do kamafugito filler e pó quando comparado ao tratamento padrão completo SFT + KCl, principalmente no solo argiloso (Figura 41). Quando comparados ao 1º corte, no geral, verificou-se aumento nos valores de IEA, evidenciando o bom poder residual do produto, fornecendo os nutrientes para as plantas de forma mais gradativa e assim evitando grandes perdas por fixação e lixiviação. O uso de fertilizantes de liberação lenta é especialmente relevante em áreas tropicais onde os teores de nutrientes são geralmente baixos e a deficiência das plantas ocorre frequentemente após alguns anos de cultivo em solos altamente desenvolvidos (DARUNSONTAYA et al., 2012).

13.3.5. Análise dos nutrientes na parte aérea (P, K, Ca e Mg)

13.3.5.1. Fósforo na parte aérea

O teor de P na parte aérea das plantas colhidas aos 40 DAS, observou-se que, exceto pelo kamafugito filler no solo argiloso, as maiores doses do produto proporcionaram incremento do nutriente nas plantas em relação a testemunha (Tabela 34), sendo que os teores de P na planta estiveram dentro da faixa adequada deste nutriente (0,8 - 3,0 g kg⁻¹ de P) para *B. brizantha* (RAIJ et al., 1997). Aos 40 DAS, a aplicação das doses mais altas de kamafugito em ambos os tipos de solo aumentou os valores de P acumulado, mas os efeitos não são comparáveis aos obtidos no tratamento SFT + KCl (Tabela 34).

Tabela 34. Teor de P na parte aérea de plantas de brachiaria cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 40 e 80 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó

Dose P ₂ O ₅	Solo argiloso			Solo arenoso		Média a
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	
1º corte						
mg dm ⁻³	g kg ⁻¹					
63	1,65 ^{+ α}	1,28 ^{+ α}	1,39	1,81 ^{*+}	1,59 ^{+ α}	1,69
127	1,68	1,59 ⁺	1,64	1,58 ^{+ α}	1,78 ^{+ α}	1,58
253	1,78	1,76	1,77	1,67 ^{+ α}	1,81 ^{*+}	1,69
507	1,78	1,89 [*]	1,84	1,86 ^{*+}	1,98 ^{*+}	1,92
Médias	1,69 ^a	1,63 ^a		1,73 ^a	1,71 ^a	
Testemunha		1,36			1,39	
SFT (253)		2,18			2,33	
SFT + KCl (253 + 80)		2,05			2,00	
Solo Argiloso: DMSTukey = 0,18; DMSDunnett _{test} = 0,50; DMSDunnett _{SFT} = 0,50; DMS _{SFT + KCl} = 0,52 ; CV (%) = 14,8; Solo Arenoso: DMSTukey = 0,11; DMSDunnett _{test} = 0,32 DMSDunnett _{SFT} = 0,32; DMS _{SFT + KCl} = 0,31; CV (%) = 8,9.						
2º corte						
63	1,47 ^{*+ α}	1,12 ^{+ α}	1,29	1,70 ^{*+ α}	1,73 ^{*+ α}	1,71
127	1,47 ^{*+ α}	1,62 ^{*+}	1,54	2,03 ^{*+ α}	1,76 ^{*+ α}	1,90
253	1,51 ^{*+ α}	1,39 ^{*+ α}	1,45	1,95 ^{*+ α}	2,28 ^{*+ α}	2,11
507	1,63 ^{*+}	1,70 ^{*+}	1,66	2,42 ^{*+ α}	2,13 ^{*+ α}	2,27
Médias	1,52 ^a	1,45 ^a		2,03 ^a	1,97 ^a	
Testemunha		0,87			1,08	
SFT (253)		2,34			3,33	
SFT + KCl (253 + 80)		1,97			2,98	
Solo Argiloso: DMSTukey = 0,16; DMSDunnett _{test} = 0,44; DMSDunnett _{SFT} = 0,44; DMS _{SFT + KCl} = 0,45 ; CV (%) = 14,3; Solo Arenoso: DMSTukey = 0,19; DMSDunnett _{test} = 0,54; DMSDunnett _{SFT} = 0,54; DMS _{SFT + KCl} = 0,53; CV (%) = 12,9.						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

Esse resultado era esperado uma vez que as fontes convencionais de P apresentam maior solubilidade, liberando o nutriente mais rapidamente e apresentando melhores resultados no primeiro ciclo da cultura. O kamafugito é um produto menos solúvel, com liberação gradual de nutrientes, portanto, melhores resultados são esperados em cultivos consecutivos.

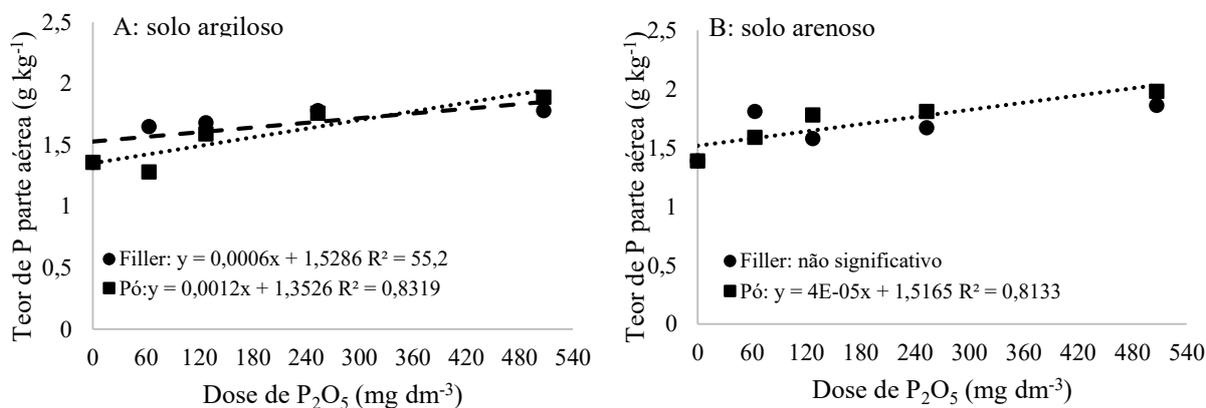
Para o solo argiloso nas doses de 253 e 507 mg dm⁻³ de P₂O₅ os teores de P na planta foram semelhantes aos tratamentos controle SFT e SFT + KCL, enquanto que para o solo de textura arenosa não foi observado esse comportamento. Não houve diferença entre a granulometria filler e pó do kamafugito para o teor de P na parte aérea da

brachiaria 1º corte em ambos os solos (Tabela 34).

A aplicação do kamafugito em todas as doses e ambos os solos aumentou os teores de P na parte aérea da brachiaria no 2º corte em relação à testemunha (Tabela 34). Porém, em relação ao tratamento padrão SFT, os valores se mostraram inferiores, e, quando comparados ao padrão SFT + KCl as maiores doses do produto foram semelhantes estatisticamente (Tabela 66). Os teores de P, em geral, estão dentro da faixa adequada deste nutriente (0,8 - 3,0 g kg⁻¹ de P) para *B. brizantha* (RAIJ et al., 1997). Vale ressaltar que além do teor do nutriente nas plantas é preciso avaliar o valor acumulado na massa seca, o que leva em consideração o quanto as plantas produziram em cada tratamento.

No 1º corte, para o solo argiloso, ambas as formas do kamafugito aumentaram o teor de P na parte aérea a medida que se aumentou as doses P₂O₅, sendo que o incremento observado foi de aproximadamente 1 mg kg⁻¹ de P a cada mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicada via kamafugito. Já para o solo arenoso apenas a forma pó apresentou ajuste linear (Figura 42).

40 DAS



80 DAS

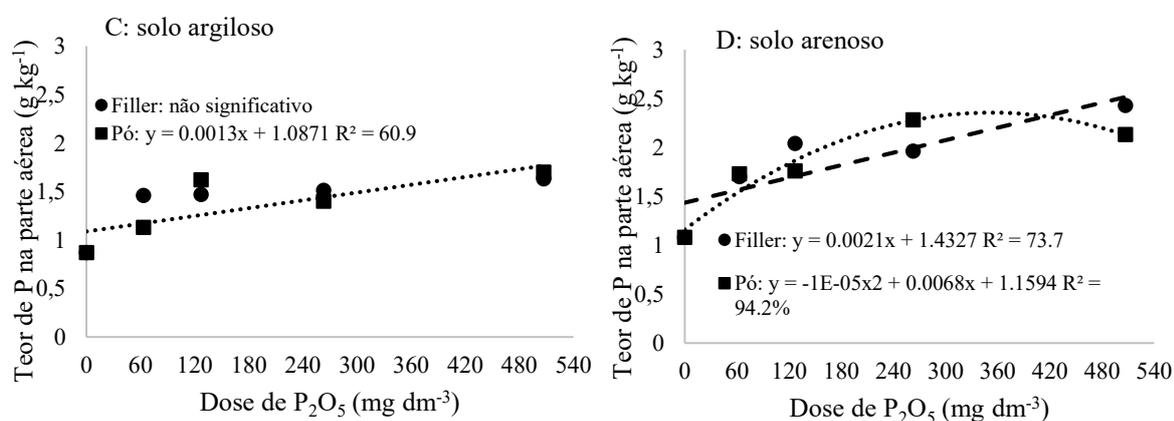


Figura 42. Teor de P na parte aérea da barachiaria colhida 40 DAS e 80 DAS cultivada em um LVd (A,C) e em um RQo (B,D), em função de doses crescentes de P_2O_5 proveniente do kamafugito filler e pó.

Em relação ao 2º corte, para o kamafugito na forma pó no solo argiloso e na forma filler no solo arenoso, houve resposta linear do teor de P na planta com o aumento das doses, já para o produto na forma pó no solo arenoso a dose de aproximadamente 300 mg dm^{-3} de P_2O_5 foi a mais eficiente em incrementar os valores do nutriente nas plantas (Figura 42).

Os valores de P acumulado nas plantas colhidas aos 40 DAS demonstraram que o produto kamafugito proporcionou acréscimo na maioria das doses em ambos os solos, sendo que quando comparados aos tratamentos controle SFT e SFT + KCl o produto se mostrou inferior no acúmulo de P nas plantas (Tabela 35).

Para as plantas do 2º corte, verificou-se que, exceto pela menor dose (63 mg dm^{-3}

3) de P₂O₅ aplicada via kamafugito no solo argiloso, todas as outras em ambos os solos incrementaram os valores de P acumulado na parte aérea da brachiaria colhida aos 80 DAS (Tabela 35). Na maior dose do produto (507 mg dm⁻³ de P₂O₅) para ambos os solos os valores de P acumulado se igualaram aos do tratamento padrão SFT e também ao tratamento SFT + KCl no solo argiloso (Tabela 35). Para o solo arenoso o produto na forma filler foi mais eficiente em acumulado o P nas plantas do que a forma pó (Tabela 35).

Tabela 35. Valores de P acumulado na parte aérea da brachiaria, colhida aos 40 e 80 DAS, cultivado em dois tipos de solo (RQo e LVd) em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

Dose P ₂ O ₅	Solo argiloso			Solo arenoso			Média
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó		
1º corte							
mg dm ⁻³	----- mg vaso ⁻¹ -----						
63	13,7 *+ α	11,7 α	12,7	19,6 *+ α	17,3 + α		18,5
127	14,8 *+ α	12,4 *+ α	13,6	17,2 + α	15,3 + α		16,2
253	14,5 *+ α	18,1 *+ α	16,3	20,4 *+ α	17,0 + α		18,7
507	15,6 *+ α	15,1 *+ α	15,4	23,4 *+	19,5 *+ α		21,5
Médias	14,6 a	14,3 a		20,1 a	17,3 b		
Testemunha	7,1			11,4			
SFT (253)	25,0			34,3			
SFT + KCl (253+80)	32,2			29,6			
Solo Argiloso: DMSTukey = 1,77; DMSDunnett _{test} = 4,96; DMSDunnett _{SFT} = 4,96; DMS _{SFT + KCl} = 6,30; CV (%) = 16,5; Solo Arenoso: DMSTukey = 2,33; DMSDunnett _{test} = 6,54; DMSDunnett _{SFT} = 6,54; DMS _{SFT + KCl} = 7,05; CV (%) = 16,5.							
2º corte							
63	12,5 *α	13,3 + α	12,9	19,6 *+α	17,2 + α		18,4
127	19,4 *+ α	19,4 *+ α	19,4	25,6 * α	18,6 *+α		22,1
253	22,2 *+ α	21,6 *+ α	21,9	23,2 * α	24,5 *α		23,9
507	30,1 *	30,4 *	30,2	37,6 *	33,4 *		35,5
Médias	21,0 a	21,2 a		26,5 a	23,4 b		
Testemunha	7,6			9,7			
SFT (253)	32,1			29,9			
SFT + KCl (253+80)	32,2			39,4			
Solo Argiloso: DMSTukey = 2,70; DMSDunnett _{test} = 7,57; DMSDunnett _{SFT} = 7,57; DMS _{SFT + KCl} = 8,25; CV (%) = 17,8; Solo Arenoso: DMSTukey = 2,91; DMSDunnett _{test} = 8,16; DMSDunnett _{SFT} = 8,16; DMS _{SFT + KCl} = 8,61; CV (%) = 16,4.							

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *, + e α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

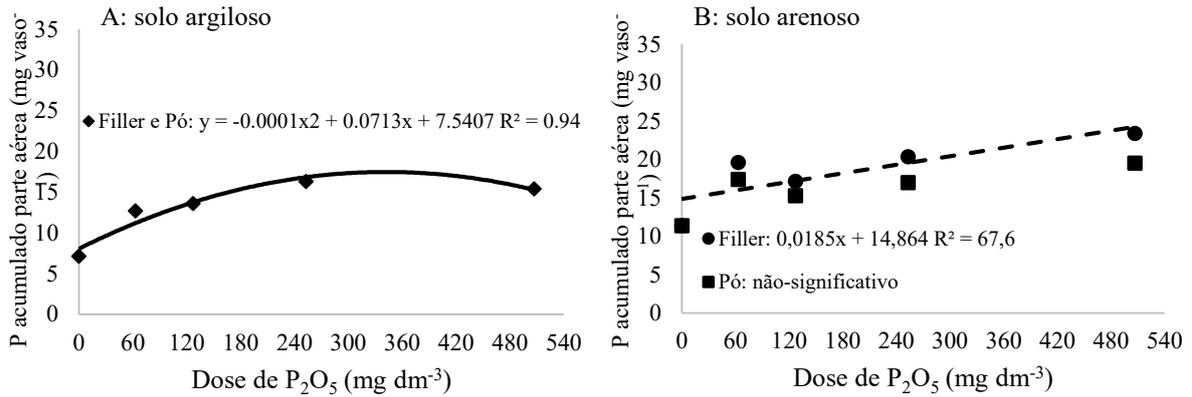
Houve tendência do produto em aumentar a disponibilidade de P para as plantas em cultivos consecutivos. Esse fato demonstra que a aplicação das maiores doses do agromineral pode resultar em uma produção equivalente a fontes mais solúveis, revelando o potencial do kamafugito em fornecer P às plantas e seu bom efeito residual. Nesse sentido, Guedes et al., (2009), relataram que fontes de P de baixa solubilidade apresentam menor eficiência em curto prazo do que os fosfatos solúveis, mas seu efeito residual é geralmente maior ao longo do tempo.

Observou-se que a aplicação do kamafugito filler e pó aumentou os valores de P acumulado nas plantas dos dois cultivos somados para todas as doses e em ambos os solos (Tabela 35). Mesmo os valores sendo inferiores ao tratamento completo SFT + KCl, verificou-se uma tendência do produto em aumentar a disponibilidade de P para as plantas no decorrer dos cultivos.

Tal fato demonstra que, a aplicação do produto em doses mais elevadas pode proporcionar produção equivalente à das fontes mais solúveis e com maior conteúdo de P_2O_5 , revelando o potencial do kamafugito em fornecer P para as plantas e seu bom poder residual. Esse resultado era esperado uma vez que as fontes convencionais de P possuem maior solubilidade, liberando o nutriente mais rapidamente e demonstrando melhores resultados no 1º corte. O kamafugito é um produto menos solúvel, com liberação gradual dos nutrientes, assim espera-se melhores resultados nos cultivos consecutivos.

O produto kamafugito em ambas as granulometrias proporcionou comportamento linear em relação as doses de P_2O_5 , ou seja, quanto maior a dose maiores foram os valores de P acumulado nas plantas de brachiaria colhidas aos 40 DAS, cultivadas no solo arenoso. Já para o solo de textura argilosa não foi observado esse comportamento (Figura 43). Para o segundo cultivo da brachiaria, em ambos os solos houve aumento dos valores de P acumulado a medida que se aumentou a dose de P_2O_5 aplicada via kamafugito nas formas filler e pó (Figura 43).

40 DAS



80 DAS

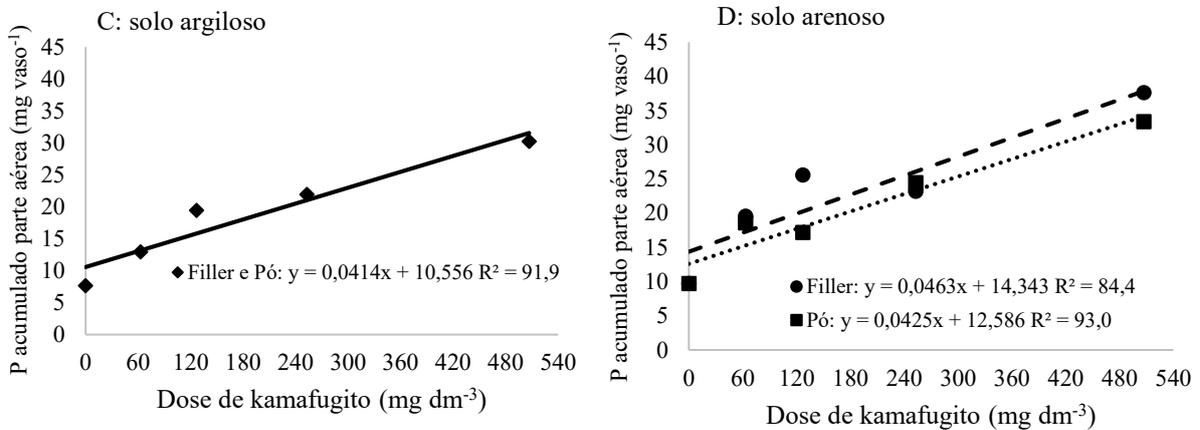


Figura 43. Valores de P acumulado na parte aérea da barachiarria colhida 40 DAS e 80 DAS cultivada em um LVd (A,C) e em um RQo (B,D), em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e Pó.

13.3.5.2. Potássio na parte aérea

Em relação ao K na parte aérea das plantas do primeiro cultivo, observou-se um maior teor dos tratamentos com o kamafugito em relação a testemunha e menores em relação ao tratamento controle KCl (Tabela 36). As concentrações de potássio se mostraram adequadas para o desenvolvimento de gramíneas que devem possuir, na parte aérea, de 12 a 30 g kg⁻¹ (Oliveira et al., 2007a). Para o solo argiloso foi observado acréscimo significativo nos teores de K nas plantas em relação ao controle SFT + KCl em todas as doses para o filler e na dose de 40 mg dm⁻³ de K₂O para o pó (Tabela 36).

Tabela 36. Teor de K na parte aérea de plantas de brachiaria cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 40 e 80 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose K ₂ O	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte						
mg dm ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----					
20	25,25 a*+ ^α	22,00 b ⁺	23,63	12,68 ⁺	13,25 ⁺	12,96
40	25,50 a*+ ^α	27,50 a*+ ^α	26,50	14,50 ⁺	15,25 ⁺	14,89
80	25,83 a*+ ^α	22,18 b ⁺	24,00	12,63 ⁺	14,68 ⁺	13,65
160	26,75 a*+ ^α	23,00 b ⁺	24,88	13,75 ⁺	17,00	15,38
Médias	25,83	23,68		13,34 a	15,04 a	
Testemunha (0)		21,00			13,33	
KCl (80)		32,13			21,25	
SFT + KCl (253+80)		19,75			13,75	
Solo Argiloso: DMSTukey = 2,71; DMSDunnett _{test} = 3,80; DMSDunnett _{KCl} = 3,80; DMS _{SFT + KCl} = ; CV (%) = 7,4; Solo Arenoso: DMSTukey = 1,76; DMSDunnett _{test} = 4,94; DMSDunnett _{KCl} = 4,94; DMS _{SFT + KCl} = 5,10; CV (%) = 16,3.						
2º corte						
20	12,75 ^{+α}	8,50 ⁺	10,63	6,50 ⁺	6,75 ⁺	6,23
40	14,68 ^α	12,50 ^{+α}	13,59	6,75 ⁺	7,25 ⁺	7,00
80	9,00 ⁺	9,25 ⁺	9,13	8,00	8,00	8,00
160	11,00 ⁺	12,00 ^{+α}	11,50	8,00	7,75	7,88
Médias	11,86 a	10,56 a		7,31 a	7,44 a	
Testemunha (0)		11,08			5,75	
KCl (80)		19,25			10,25	
SFT + KCl (253+80)		7,25			7,25	
Solo Argiloso: DMSTukey = 1,80; DMSDunnett _{KCl} = 5,04; DMS _{SFT + KCl} = 4,67; CV (%) = 20,7 Solo Arenoso: DMSTukey = 0,93; DMSDunnett _{KCl} = 2,61; DMS _{SFT + KCl} = 2,24; CV (%) = 17,3.						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

Os teores de K na parte aérea das plantas no 2º corte da brachiaria não sofreram acréscimo com a aplicação do kamafugito filler e pó ambos os solos, em relação a testemunha (Tabela 36). De maneira geral, a concentração do nutriente nas plantas foi menor nos tratamentos com o produto em relação ao tratamento controle KCl, exceto pela maior dose (160 mg dm⁻³ de K₂O) no solo arenoso, onde os valores de K na parte aérea foram similares ao do tratamento padrão. Não houve diferença significativa entre as formas filler e pó quanto teor de K na parte aérea da brachiaria (Tabela 36). Os teores de K nas plantas para o 2º cultivo da brachiaria, se mostraram, no geral, menores que a faixa adequada para o desenvolvimento de gramíneas que devem possuir, na parte aérea, de 12

a 30 g kg⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2007a).

Para o solo argiloso no 1º corte da brachiaria verificou-se que com o aumento das doses de K₂O aplicado via kamafugito na forma filler, houve acréscimo no teor de K nas plantas de brachiaria (Figura 44).

Esse mesmo comportamento foi observado para o solo arenoso no 2º corte da brachiaria onde produto na forma filler apresentou comportamento linear no aumento do teor de K nas plantas com o aumento das doses, sendo que a cada 1 mg dm⁻³ de K₂O aplicado via kamafugito filler houve acréscimo de aproximadamente 0,013 g kg⁻¹ de K na parte aérea da brachiaria. O produto na forma pó apresentou os maiores valores de concentração de K nas plantas na dose de aproximadamente 80 mg dm⁻³ de K₂O (Figura 44).

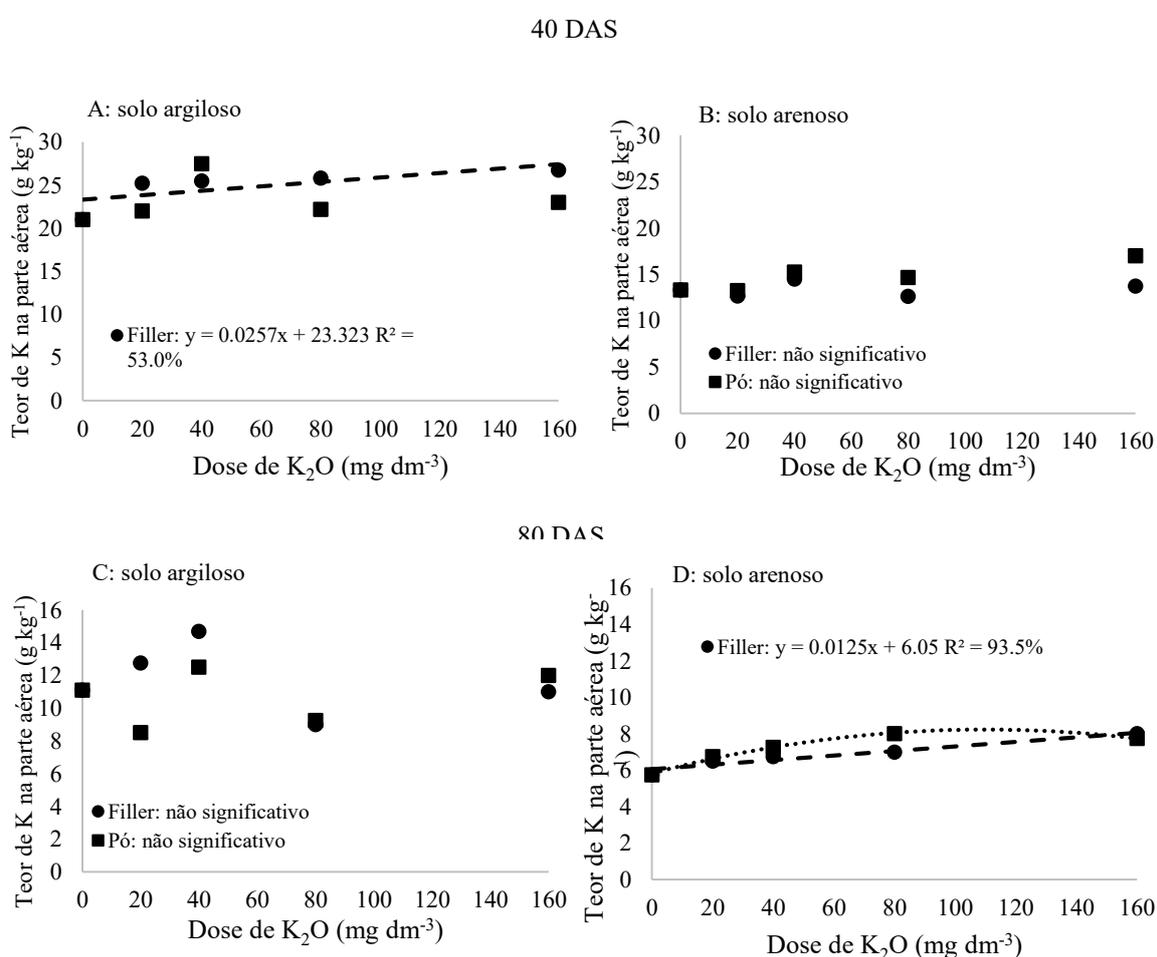


Figura 44. Teor de K na parte aérea da brachiaria colhida 40 DAS e 80 DAS, cultivada em um LVd (A,C) e RQo (B,D) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do produto kamafugito filler e pó.

No solo argiloso, ambas as formas do kamafugito em todas as doses aumentaram

os valores de K acumulado na parte aérea da brachiaria colhida aos 40 DAS em relação à testemunha, porém foram inferiores aos tratamentos controle KCl e KCl + SFT (Tabela 37). Apenas para esse solo o produto na forma filler foi mais eficiente que a forma pó. No solo arenoso observou-se que na maior dose de K₂O aplicada via kamafugito em ambas as formas não diferiram da mesma dose aplicada via KCl (Tabela 37).

Tabela 37. Valores de K acumulado na parte aérea da brachiaria, colhida aos 40 e 80 DAS cultivado em dois tipos de solo (RQo e LVd) em função de doses crescentes de P₂O₅ proveniente do kamafugito filler e pó.

Dose K ₂ O	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte						
mg dm ⁻³	----- mg vaso ⁻¹ -----					
20	227,1 * ⁺ α	199,9 * ⁺ α	213,5	132,8 ⁺ α	146,1 ⁺	139,5
40	224,1 * ⁺ α	203,7 * ⁺ α	213,9	155,8	148,2 ⁺	152,0
80	210,5 * ⁺ α	221,5 * ⁺ α	216,0	151,7	143,3 ⁺ α	147,5
160	232,8 * ⁺ α	188,4 * ⁺ α	210,6	171,5	164,9	168,2
Médias	223,6 a	203,4 b		153,0 a	150,6 a	
Testemunha		110,7			120,9	
KCl (80)		310,0			203,3	
SFT + KCl (253+80)		294,1			197,6	
Solo Argiloso: DMSTukey = 17,15; DMSDunnett _{test} = 48,09; DMSDunnett _{SFT} = 48,09; DMS _{SFT + KCl} = 53,44; CV (%) = 11,1;						
Solo Arenoso: DMSTukey = 18,59; DMSDunnett _{test} = 52,1; DMSDunnett _{SFT} = 52,1; DMS _{SFT + KCl} = 53,36; CV (%) = 16,7.						
2º corte						
20	110,6 * ⁺ α	101,4 ⁺	106,0	75,3 ⁺ α	73,0 ⁺ α	74,1
40	195,4 ⁺	151,9 ⁺	173,7	85,4 ⁺ α	70,5 ⁺ α	78,0
80	132,3 * ⁺ α	143,2 ⁺	137,7	95,2 *	85,6 ⁺ α	90,4
160	199,2 ⁺	215,2 * ⁺ α	207,2	123,7 *	121,3 *	122,5
Médias	159,4 a	152,9 a		94,9 a	87,6 a	
Testemunha		95,4			51,5	
KCl (80)		319,3			130,9	
SFT + KCl (253+80)		118,1			124,7	
Solo Argiloso: DMSTukey = 27,10; DMSDunnett _{test} = 75,96; DMSDunnett _{KCl} = 75,96; DMS _{SFT + KCl} = 72,99; CV (%) = 22,4; Solo Arenoso: DMSTukey = 18,59; DMSDunnett _{test} = 38,25; DMSDunnett _{KCl} = 38,25; DMS _{SFT + KCl} = 31,94; CV (%) = 16,7.						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, ⁺ e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão KCl e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

Em relação ao segundo cultivo da brachiaria (colheita aos 80 DAS), aplicação do kamafugito na maior dose (160 mg dm⁻³ de K₂O) aumentou os valores de K acumulado pelas plantas em ambos os solos, em relação a testemunha (Tabela 37). Ainda na maior dose de K₂O aplicada via kamafugito para o solo argiloso, os valores de K acumulado

foram superiores ao tratamento padrão SFT + KCl mas inferiores em relação ao padrão KCl. Para o solo arenoso os valores foram estatisticamente semelhantes aos dos tratamentos padrão mostrando a eficácia do kamafugito em fornecer K para as plantas quando comparado à fonte mais solúvel e com maior concentração do nutriente. As formas filler e pó do produto não diferenciaram entre si quanto ao acúmulo de K na parte aérea (Tabela 37).

A aplicação de fontes de K solúveis como KCl resulta em uma baixa retenção na capacidade de troca catiônica do solo (CEC), uma vez que K apresenta uma pequena carga e tamanho de íons hidratados (YAMADA & ROBERTS, 2005). O K presente no kamafugito é liberado para o solo de forma gradual, evitando perdas por lixiviação e consequentemente sendo melhor aproveitado pelas plantas. Trabalhos como de Martins et al. (2008), Luz et al. (2010), Martins et al. (2014), destacaram o potencial das rochas ultrapotássicas como fontes alternativas de K para a agricultura em substituição às fontes convencionais (KCl). Os aumentos dos níveis de K observados nas plantas após a aplicação do kamafugito estão relacionados à composição química desta fonte, uma vez que o produto aplicado possui 4 dag dm^{-3} de K_2O . O K presente no kamafugito pode ser atribuído à natureza ultrapotássica dessas rochas, a qual está relacionada ao excesso de K_2O em relação a Na_2O . A tal condição permite a cristalização de minerais ricos em potássio como flogopita, leucita e kalsilita.

Para as plantas do 1º corte da brachiaria, a medida que se aumentou a dose de K_2O para o solo arenoso houve incremento nos valores de acumulado para o produto nas formas filler e pó (Figura 45). Em relação as plantas do segundo cultivo (colhidas 80 DAS), cada mg dm^{-3} de K_2O aplicado via kamafugito filler e pó observou-se incremento de aproximadamente $0,2 \text{ mg vaso}^{-1}$ de K nas plantas de brachiaria cultivadas no solo arenoso, para o solo de textura argilosa apenas a forma pó apresentou comportamento linear entre os valores de K acumulado e aumento das doses de K_2O (Figura 45).

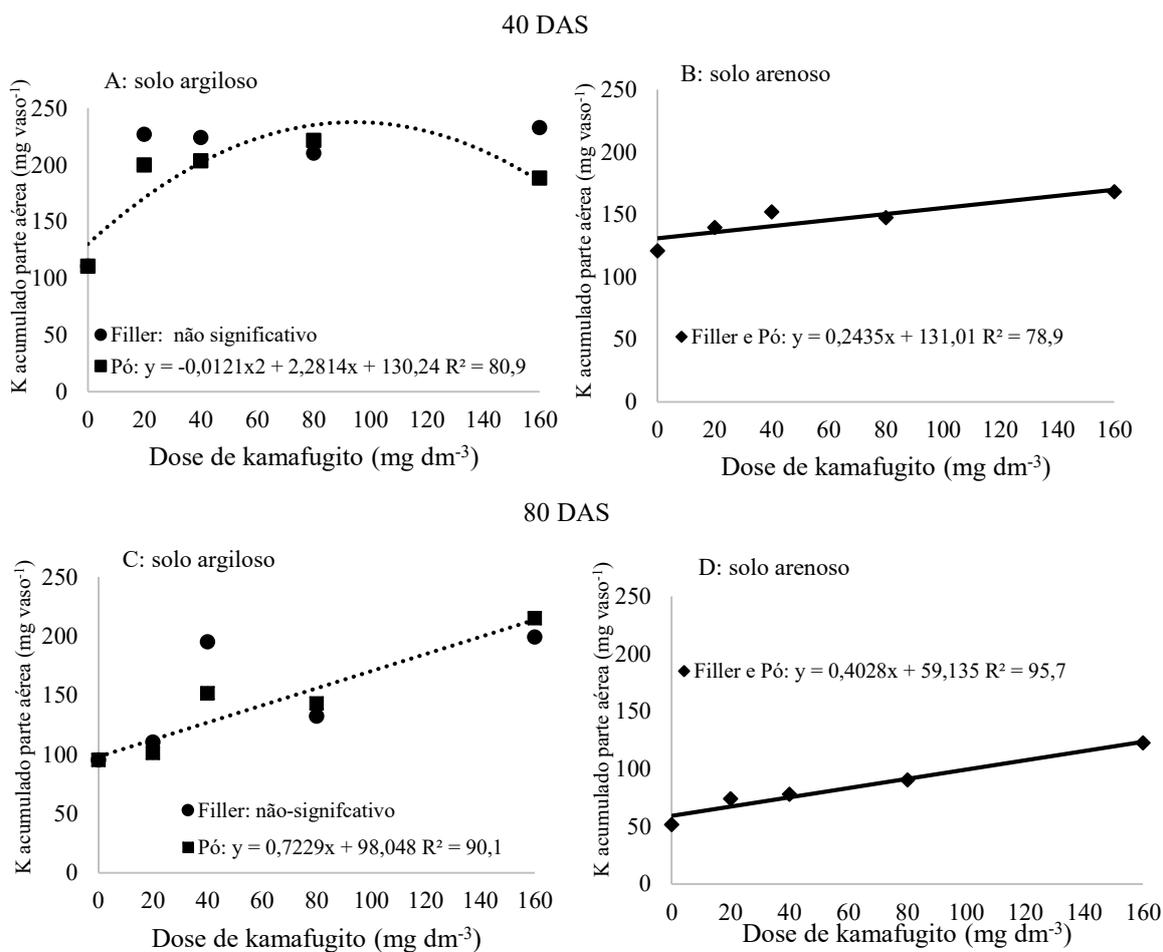


Figura 45. Valores de K acumulado na parte aérea da brachiaria colhida 40 DAS e 80 DAS, cultivada em um LVd (A,C) e RQo (B,D) em em função de doses crescentes de K2O proveniente do produto kamafugito filler e pó.

13.3.5.3. Cálcio na planta

Os teores de Ca nas plantas de brachiaria colhida aos 40 DAS, em ambos os solos as formas filler e pó do kamafugito demonstraram comportamento semelhante. Observou-se maiores de valores de Ca na parte aérea quando aplicado o produto, sendo que a dose de 1667 mg dm⁻³ do produto na forma pó e 3333 mg m⁻³ na forma filler, aumentaram o teor do nutriente nas plantas de brachiaria em relação a testemunha para o solo argiloso (Tabela 38).

Tabela 38. Teor de Ca na parte aérea de plantas de brachiaria cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 40 e 80 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose do Kamafugito	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte						
mg dm ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----					
1667	5,60	6,10 *	5,85	5,03	5,10	5,06
3334	6,40 *	5,63	6,01	5,18	4,08	4,63
6668	5,58	5,22	5,40	5,18	4,89	5,03
13336	5,48	5,23	5,35	4,68	4,43	4,55
Médias	5,76 a	5,54 a		5,01 a	4,62 a	
Testemunha	4,43			4,18		
Solo Argiloso: DMSTukey = 0,45; DMSDunnett = 1,25; CV (%) = 11,2; Solo Arenoso: DMSTukey = 0,61; DMSDunnett = 1,69; CV (%) = 17,6.						
2º corte						
1667	4,48	4,23	4,35	6,50	5,58	6,04
3334	4,45	4,85 *	4,65	6,40	5,55	5,98
6668	4,08	4,40	4,24	6,90	6,13	6,51
13336	4,30	4,10	4,25	6,08	6,13	6,10
Médias	4,33 a	4,42 a		6,47 a	5,84 a	
Testemunha	3,65			4,88		
Solo Argiloso: DMSTukey = 0,40; DMSDunnett = 1,10; CV (%) = 12,6; Solo Arenoso: DMSTukey = 0,74; DMSDunnett = 2,06; CV (%) = 17,2.						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

Os teores de Ca na parte aérea da brachiaria colhida aos 80 DAS foram maiores nos tratamentos com o kamafugito em ambos os solos sendo que a dose de 3333 mg dm⁻³ do produto para o solo argiloso proporcionou acréscimo significativo no teor do nutriente nas plantas em relação a testemunha (Tabela 38). Não houve diferença quanto a granulometria do kamafugito, filler ou pó, nos valores de Ca na parte aérea da brachiaria (Tabela 38).

Não houve ajuste significativo entre as doses do produto e teor de Ca na parte aérea das plantas colhidas aos 40 e 80 DAS (Figura 46).

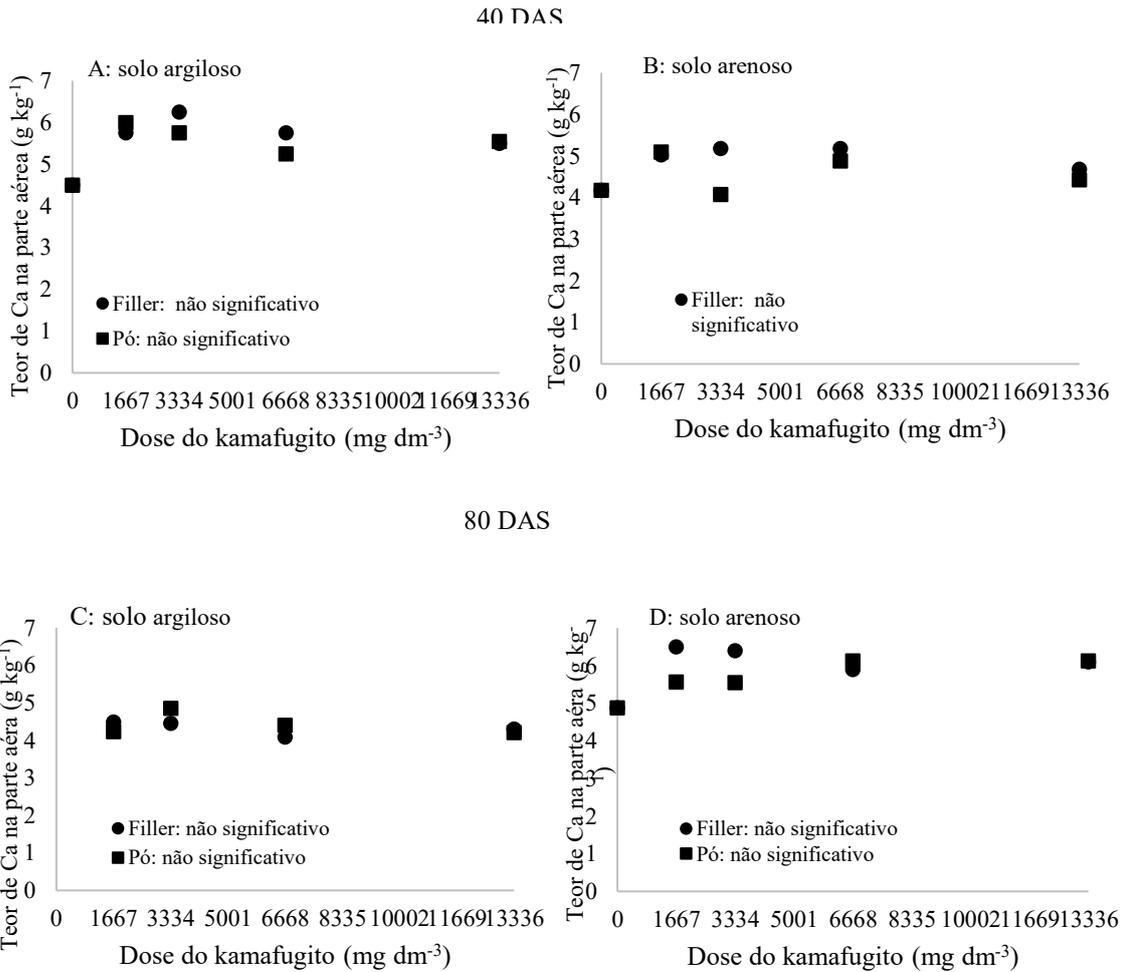


Figura 46. Teor de Ca na parte aérea da brachiaria colhida aos 40 DAS e 80 DAS, cultivada em um LVd (A,C) e em um RQo (B,D), em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Para o solo argiloso ambas as formas do kamafugito em todas as doses proporcionaram aumento nos valores de Ca acumulado nas plantas de brachiaria colhidas aos 40 DAS em relação à testemunha. Para o solo arenoso esse aumento foi observado apenas na dose de 6667 mg dm⁻³ do produto na forma filler, sendo que essa granulometria foi a mais eficiente em incrementar os valores de Ca acumulado em ambos os tipos de solo (Tabela 39).

Tabela 39. Valores de Ca acumulado na parte aérea de plantas de brachiaria cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 40 e 80 DAS em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose do Kamafugito	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte						
mg dm ⁻³	-----			mg vaso ⁻¹	-----	
1667	50,64 a*	55,90 a*	53,27	55,71	56,16	55,94
3334	56,21 a*	43,83 b*	50,02	56,94	39,14	48,04
6668	45,45 a*	53,83 a*	49,64	62,56 *	49,45	56,01
13336	47,90 a*	41,48 a*	44,69	59,03	43,46	51,24
Médias	50,05	48,76		58,56 a	47,05 b	
Testemunha	23,44			34,08		
Solo Argiloso: DMSTukey = 9,90; DMSDunnett = 13,72; CV (%) = 14,6; Solo Arenoso: DMSTukey = 9,56; DMSDunnett = 26,49; CV (%) = 25,8.						
2º corte						
1667	38,44	50,39 *	44,41	75,02	61,70	68,36
3334	58,70 *	59,00 *	58,85	80,34 *	54,73	67,54
6668	59,95 *	68,34 *	64,15	82,11 *	66,81	74,46
13336	78,35 *	74,73 *	76,54	94,34 *	95,48 *	94,91
Médias	58,86 a	63,11 a		82,95 a	69,68 b	
Testemunha	31,81			44,30		
Solo Argiloso: DMSTukey = 5,85; DMSDunnett = 16,21; CV (%) = 14,6; Solo Arenoso: DMSTukey = 12,63; DMSDunnett = 35,0; CV (%) = 23,6						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere, da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Quanto às plantas colhidas aos 80 DAS, verificou-se que a aplicação do kamafugito filler e pó incrementou os valores de Ca acumulado nas plantas de brachiaria em ambos os solos, em relação a testemunha. Para o solo arenoso a forma filler foi mais eficiente em relação à forma pó em aumentar os valores de acúmulo de Ca na parte aérea das plantas (Tabela 39).

Esses resultados mostram que, além de K e P, o kamafugito é capaz de fornecer Ca e Mg as plantas, uma vez que foram aplicadas quantidades iguais dos nutrientes para todos os tratamentos no início do experimento, assim, os valores superiores observados são devido a aplicação do produto. Os kamafugitos quando intemperizados são importantes fontes de argilas 2:1, tais como vermiculita, esmectita e montmorilonita. Essas argilas quando disponíveis no solo aumentam a CTC e a Capacidade de Retenção de Água (CRA) do solo. Esses fatores são importantes na manutenção e fixação de cátions solúveis tais como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e outros micronutrientes que são adsorvidos pelas argilas 2:1 (Martins et al. 2014).

Para as plantas colhidas aos 40 DAS, não houve ajuste significativo dos valores de Ca acumulado com o aumento da dose do kamafugito (Figura 47). Em relação às plantas colhidas aos 80 DAS, em ambos os solos os valores de Ca acumulado na parte aérea da brachiria do segundo cultivo foram incrementados com o aumento da dose do amafugito nas formas filler e pó, sendo esse acréscimo de, em média, 0,03 mg vaso⁻¹ de Ca a cada mg dm⁻³ de produto aplicado (Figura 47).

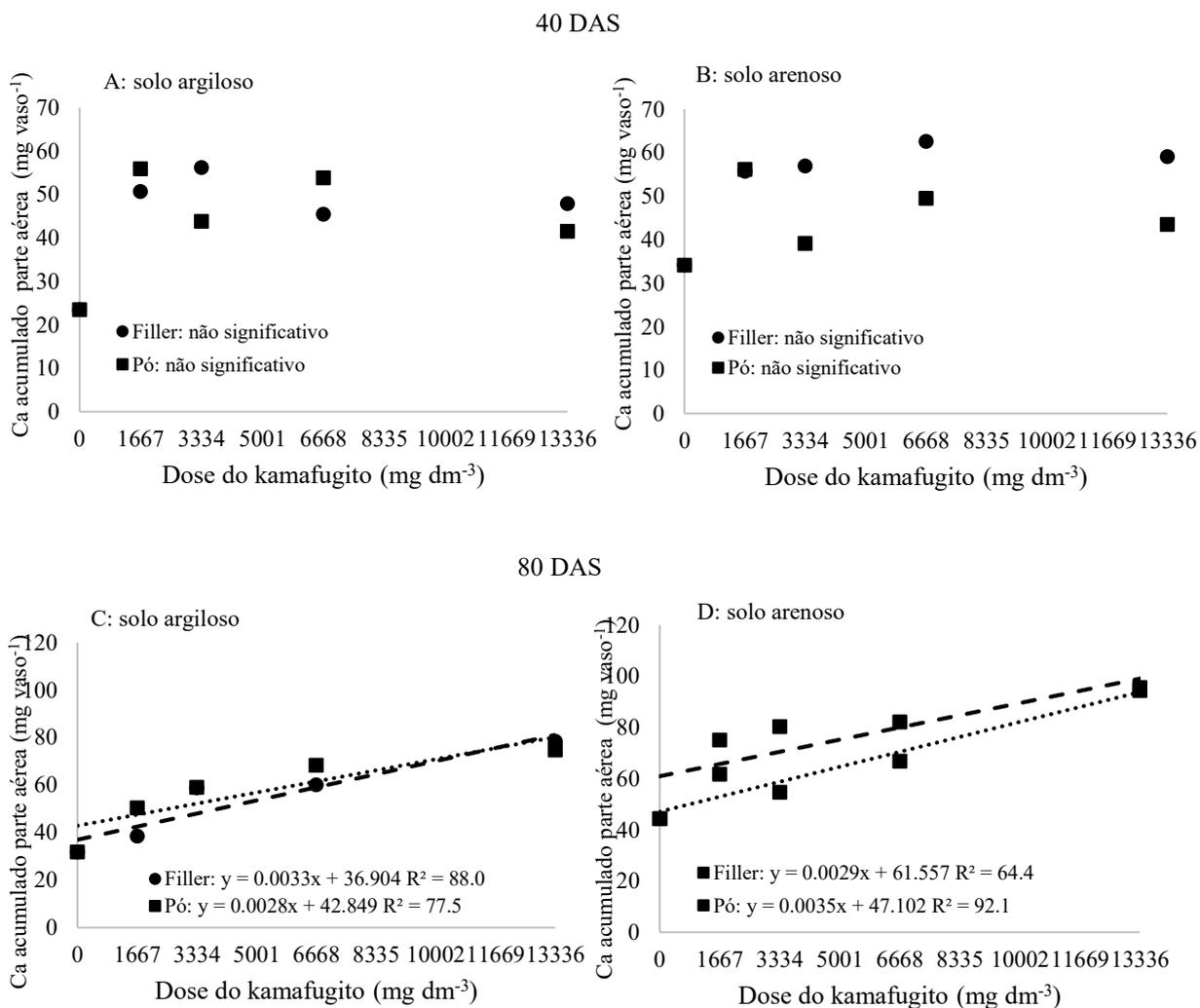


Figura 47. Valores de Ca acumulado na parte aérea da brachiaria colhida aos 40 DAS e 80 DAS, cultivada em um LVd (A,C) e RQo (B,D) em função de doses crescentes do produto kamafugito filler e pó.

13.3.5.4. Magnésio na planta

Em geral, verificou-se maiores teores de Mg na parte aérea das plantas do 1º corte

quando aplicado o kamafugito em ambas as formas, porém, as maiores doses (6668 e 13336 mg dm⁻³ do produto) na forma pó para o solo argiloso e filler para o solo arenoso incrementaram os teores do nutriente nas plantas em relação a testemunha (Tabela 40). O produto na forma pó se mostrou mais eficiente que na forma filler para o solo arenoso. (Tabela 40).

Tabela 40. Teor de Mg na parte aérea de plantas de brachiaria cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 40 e 80 DAS, em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose do kamafugito	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte						
mg dm ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----					
1667	10,13	10,73	10,43	14,50 *	12,40	13,45
3334	11,10	10,18	10,64	12,22	10,13	11,17
6668	10,93	11,28 *	11,10	13,88 *	9,90	11,89
13336	10,43	11,95 *	11,19	13,15 *	11,60	12,38
Médias	10,64 a	11,03 a		13,44 a	11,00 b	
Testemunha	7,98			8,90		
Solo Argiloso: DMSTukey = 1,16; DMSDunnett = 3,21; CV (%) = 15,1; Solo Arenoso: DMSTukey = 1,26; DMSDunnett = 3,50; CV (%) = 14,6.						
2º corte						
1667	11,28	11,80	11,54	12,13 a	13,42 a	12,78
3334	13,30 *	12,75	13,03	14,67 a	9,57 b	12,13
6668	13,20 *	16,43 *	14,81	15,00 a	6,60 b	10,80
13336	15,43 *	15,78 *	15,60	11,83 a	14,03 a	12,93
Médias	13,3 a	14,19 a		13,41	10,91	
Testemunha	8,43			10,23		
Solo Argiloso: DMSTukey = 1,72; DMSDunnett = 4,76; CV (%) = 17,9; Solo Arenoso: DMSTukey = 1,77; DMSDunnett = 4,89; CV (%) = 20,4.						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

. Para as plantas do 2º corte da brachiaria observou-se que, de maneira geral, o kamafugito proporcionou aumento nos valores de Mg na parte aérea das plantas, principalmente nas maiores doses (6668 e 13336 mg dm⁻³ do produto) e de maneira significativa no solo argiloso (Tabela 40). Pode ser observado que nas doses de 3334 e 6668 mg dm⁻³ o produto na forma filler foi mais eficiente em incrementar os teores de Mg nas plantas em relação a forma pó, para o solo arenoso (Tabela 40).

Em relação ao 1º cultivo da brachiaria, para o solo argiloso, à medida que se aumentou a dose do produto na forma pó observou-se acréscimo no teor de Mg na parte

aérea, enquanto que para a forma filler a melhor dose foi de aproximadamente 7000 mg dm⁻³ (Figura 48). No solo de textura argilosa houve resposta linear dos teores de Mg na parte aérea da brachiaria colhida aos 80 DAS com o aumento das doses do kamafugito filler e pó, enquanto que para o solo arenoso não houve ajuste significativo (Figura 48).

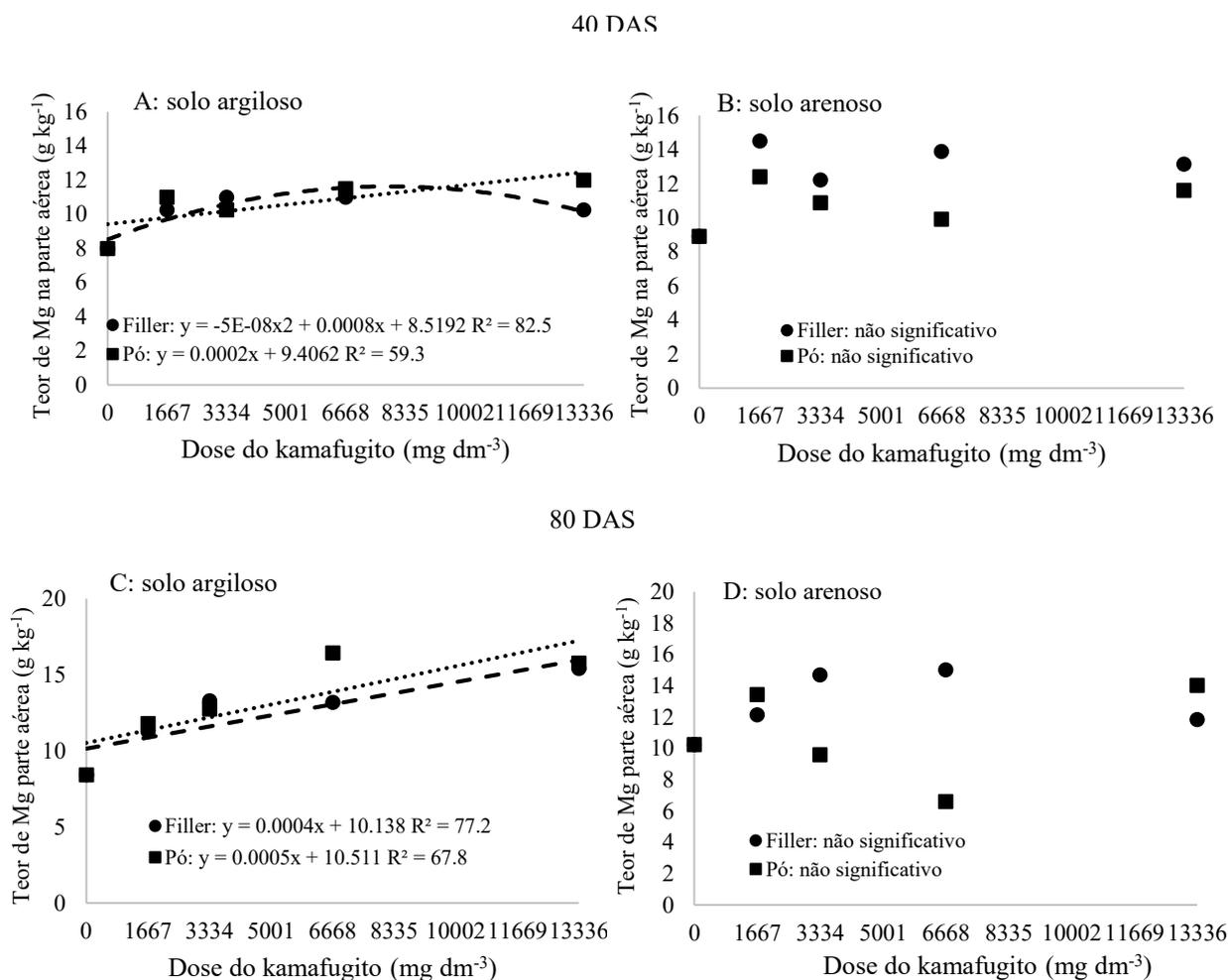


Figura 48. Teor de Mg na parte aérea da brachiaria colhida aos 40 DAS e aos 80 DAS cultivada em um LVd (A,C) e RQo (B,D) em função de doses crescentes do produto kamafugito filler e pó.

Com a aplicação do kamafugito para ambos os tipos de solo observou-se, de maneira geral, maiores valores de Mg acumulado na parte aérea das plantas do 1º corte da brachiaria, sendo que apenas para o solo arenoso a forma filler se sobressaiu em relação a forma pó (Tabela 41).

A aplicação do kamafugito nas duas formas incrementou de maneira similar os valores de Mg acumulado na parte aérea das plantas colhidas aos 80 DAS na maioria das doses do produto para o solo argiloso. Para o solo arenoso observou-se esse aumento nas

doses de 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³ do produto e apenas na maior dose para o produto na forma pó (Tabela 41).

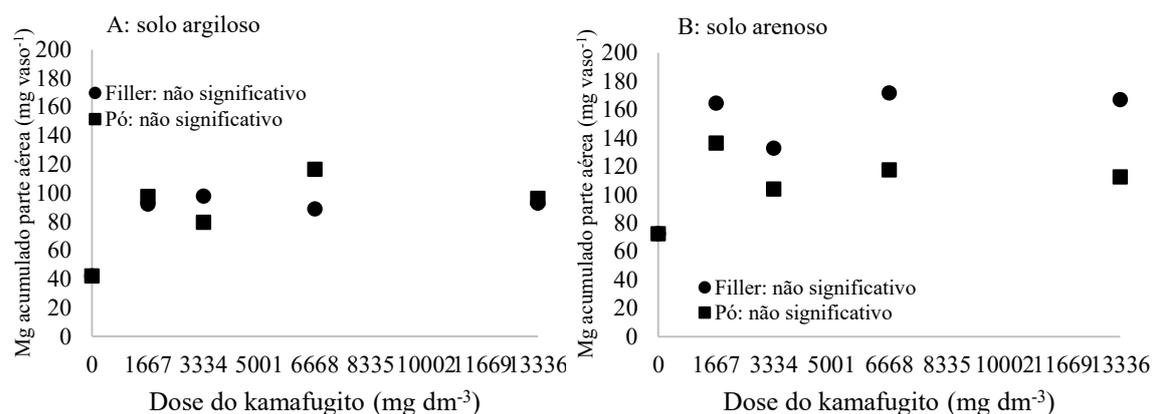
Tabela 41. Valores de Mg acumulado na parte aérea de plantas de brachiaria cultivadas em dois tipos de solo, colhidas 40 DAS, 80 DAS em função da aplicação de doses do kamafugito filler ou pó.

Dose do Kamafugito	Solo argiloso			Solo arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
1º corte						
mg dm ⁻³	----- mg vaso ⁻¹ -----					
1667	92,2 *	97,5 *	94,9	164,3 *	136,3	150,3
3334	97,8 *	79,4 *	88,6	132,7	104,0	118,4
6668	88,8 *	116,4 *	102,6	171,5 *	117,4	144,4
13336	92,8 *	96,3 *	94,6	166,8 *	112,5	139,7
Médias	92,9 a	97,4 a		158,8 a	117,6 b	
Testemunha	42,2			72,5		
Solo Argiloso: DMSTukey = 12,24; DMSDunnett = 33,90; CV (%) = 18,8; Solo Arenoso: DMSTukey = 24,35; DMSDunnett = 67,46; CV (%) = 25,5.						
2º corte						
1667	97,9	138,8	118,3	140,6 a	148,6 a	144,6
3334	177,8 *	157,8 *	167,8	186,0 a*	93,5 b	139,8
6668	194,4 *	253,3 *	223,9	190,4 a*	71,8 b	131,1
13336	282,7 *	281,2 *	282,0	183,7 a*	219,1 a*	201,4
Médias	188,2 a	207,8 a		175,0	133,3	
Testemunha	73,1			93,7		
Solo Argiloso: DMSTukey = 12,24; DMSDunnett = 77,6; CV (%) = 20,9; Solo Arenoso: DMSTukey = 52,14; DMSDunnett = 72,2; CV (%) = 23,7						

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere, da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

Não houve ajuste significativo para o Mg acumulado nas plantas de brachiaria colhidas aos 40 DAS em função das doses crescentes do produto (Figura 49). Para as plantas de brachiaria do 2º corte cultivadas no solo argiloso foi observado aumento nos teores do nutriente nas plantas a medida que se aumentou as doses do kamafugito filler e pó, o mesmo comportamento foi verificado para a soma dos dois cultivos neste mesmo solo (Figura 49). Para o solo arenoso, os valores de Mg acumulado foram incrementados até a dose de aproximadamente 7000 mg dm⁻³ do kamafugito na forma filler, sendo que para a forma pó não houve ajuste significativo (Figura 49).

40 DAS



80 DAS

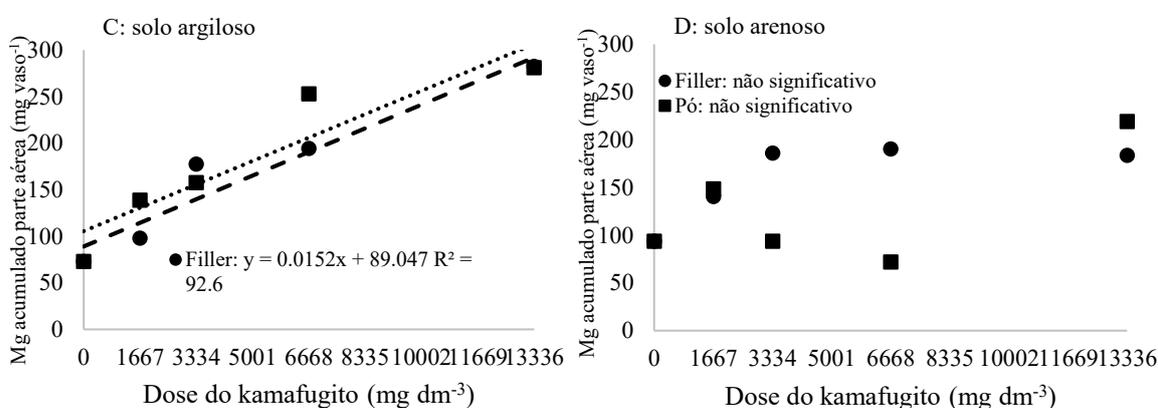


Figura 49. Valores de Mg acumulado na parte aérea da brachiaria colhida aos 40 DAS e aos 80 DAS cultivada em um LVd (A,C) e RQo (B,D) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

13.3.6. Análises de solo (P, K, Ca, Mg e pH)

13.3.6.1. Fósforo no solo

O produto mostrou grande potencial em aumentar os teores de P no solo em ambos os solos, principalmente na maior dose (507 mg dm⁻³ de P₂O₅) onde os valores aumentaram em 3 vezes em relação a testemunha para o solo argiloso e aproximadamente 40 vezes em relação a testemunha para o solo arenoso, o qual possui menor poder de fixação de P (Tabela 42). Nessa mesma dose o kamafugito se mostrou mais eficiente em elevar os teores de P do que a fonte padrão SFT e o tratamento completo SFT + KCl (Tabela 42).

Tabela 42. Teor de P em um RQo e LVd, extraído por Mehlich-1, em função da aplicação de doses de P₂O₅ provenientes do kamafugito filler e pó 151 dias após a aplicação.

Dose de P ₂ O ₅ mg dm ⁻³	P no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
SFT (253)	5,01			9,81		
SFT + KCl (253 + 80)	3,18			10,70		
0	2,90			2,17		
63	2,18 a	2,85 a	2,52	5,42	5,37	5,40
127	3,48 a	3,60 a	3,54	8,68	6,80	7,74
253	9,28 a*+ ^α	6,06 b	7,67	16,39*	9,55	12,97
507	17,80 a*+ ^α	9,50 b*+ ^α	13,65	46,17*+ ^α	38,54*+ ^α	42,35
Média	8,18	5,50		19,16 a	15,06 b	

Solo Argiloso: DMSTukey = 2,34; DMSDunnett_{SFT} = 3,27; DMS_{SFT + KCl} = 3,21; CV (%) = 25,7;

Solo Arenoso: DMSTukey = 3,26; DMSDunnett_{SFT} = 9,14; DMS_{SFT + KCl} = 9,60; CV (%) = 30,2.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^α diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Notou-se que com o decorrer dos cultivos o P proveniente da fonte padrão SFT se esgotou no solo, não havendo crescimento das plantas, já nos vasos onde foi aplicado o produto kamafugito principalmente nas maiores doses, observou-se melhor desenvolvimento da brachiaria. Para o solo argiloso os teores de P na dose de 253 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicada via kamafugito estão na faixa adequada segundo Souza & Lobato (2002), e na maior dose são considerados altos pelos mesmos autores.

Caione et al., (2011) afirmam que fertilizantes fosfatados com baixa solubilidade em água e boa solubilidade em ácidos fracos apresentam liberação mais lenta de P no solo, diminuindo seu potencial de fixação no solo. O uso de fonte de nutrientes de liberação lenta é especialmente importante para gramíneas do gênero *Urochloa*, que podem promover a acidificação do solo e, conseqüentemente, uma maior reatividade do fertilizante natural durante o seu desenvolvimento (DIAS et al., 2015).

No solo de textura arenosa os teores de P passaram de muito baixos para adequado e alto com o aumento da dose de P₂O₅ aplicada via kamafugito na forma pó e filler respectivamente (Tabela 42). Esses resultados são especialmente importantes em agroecossistemas tropicais onde as plantas de *Urochloa brizantha* são amplamente cultivadas, uma vez que a baixa disponibilidade de P no solo é um grande constrangimento à produção agrícola em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais (RAMOS et al., 2009).

Em ambos os solos a aplicação do kamafugito incrementou os teores de P no solo

à medida que se aumentou a dose de P_2O_5 , sendo que para o solo arenoso esse aumento foi maior uma vez que esse tipo de solo possui menor poder fixação do P em relação ao argiloso (Figura 50).

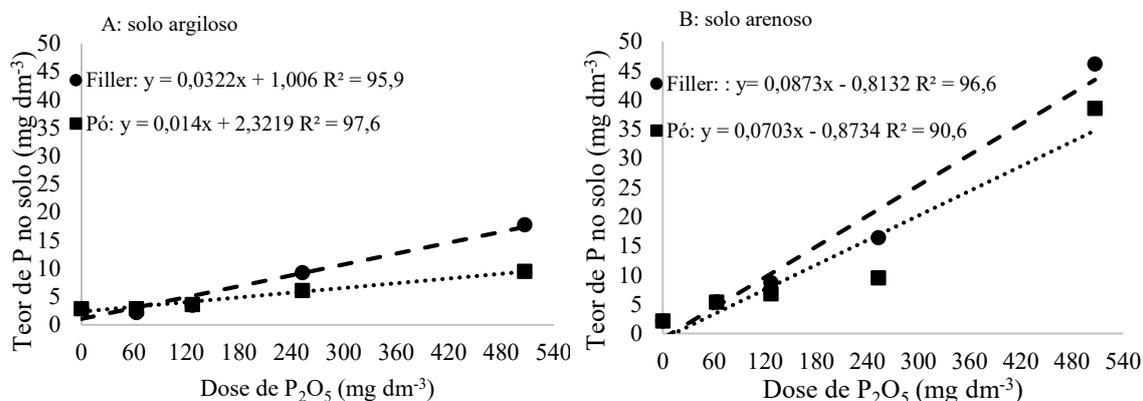


Figura 50. Teores de P em um LVd (A) e um RQo (B) em função de doses crescentes de P_2O_5 proveniente do kamafugito filler e pó.

13.3.6.2. Potássio no solo

O kamafugito não aumentou os teores de K no solo em relação a testemunha, exceto pela dose de 80 mg dm^{-3} de K_2O aplicada via kamafugito na forma filler para o solo argiloso (Tabela 43), onde essa granulometria foi mais eficiente em aumentar os teores de K no solo em relação a forma pó. Para essa forma do produto os teores de K no solo foram inferiores ao tratamento padrão completo SFT + KCl no solo argiloso (Tabela 43). Para o solo arenoso, os teores de K no solo aplicado via kamafugito não diferiram da mesma dose aplicada pela fonte KCl no tratamento padrão (SFT + KCl), o que sugere que o K encontrado no solo, após o período de incubação, foi disponibilizado para as plantas (Tabela 43).

Tabela 43. Teor de K em um RQo e LVd, extraído por Mehlich-1, em função da aplicação de doses de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó, 151 dias após aplicação.

Dose de K ₂ O	K no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
mg dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					
KCl (80)	8,68			9,25		
SFT + KCl (253 +80)	11,25			7,50		
0	6,75			6,75		
20	9,25	6,75 ^a	8,00	7,00	7,50	7,25
40	8,75	6,75 ^a	7,75	7,25	7,75	7,50
80	9,75 [*]	7,25 ^a	8,50	7,75	7,50	7,63
160	8,50 ^a	8,00 ^a	8,25	7,50	7,50	7,50
Média	9,06 a	7,19 b		7,38 a	7,56 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 1,04; DMSDunnett_{KCl} = 2,91; DMS_{SFT + KCl} = 2,62; CV (%) = 17,8;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,86; DMSDunnett_{KCl} = 2,40; DMS_{SFT + KCl} = 2,25; CV (%) = 15,6.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. *, + e ^a diferem, respectivamente, da testemunha, do padrão SFT e do padrão SFT + KCl, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Ribeiro et al (2016) também observaram redução nos teores de K trocável do solo após o plantio da soja, tanto para a rocha ultramáfica alcalina como para a brecha piroclástica.

Em razão da elevada mobilidade do K no solo, o teor de K trocável utilizado isoladamente não representa, de maneira eficiente, a disponibilidade desse nutriente em solos com características mineralógicas, físicas e químicas distintas (MEURER & ANGHINONI, 1993). Além disso, por se tratar de rochas com liberação gradativa de nutrientes, espera-se que com um tempo maior de incubação do que o utilizado neste trabalho ocorra maior liberação do K presente na rocha para o solo.

Bakken et al. (2000), ao estudarem o uso de biotita e carbonatito como fonte de K ao longo de três anos no cultivo de pastagem, observaram que no último ano do estudo, sem a adição de nenhum fertilizante potássico, o efeito do carbonatito e da biotita sobre o crescimento da pastagem foi comparável ao do KCl. Os autores concluíram ainda que ao aumentar o período de avaliação, é mais provável conseguir resultados comparáveis aos obtidos com fontes convencionais de nutrientes.

Não houve ajuste significativo para as doses de K₂O aplicadas via kamafugito filler e pó para nenhum dos solos (Figura 51).

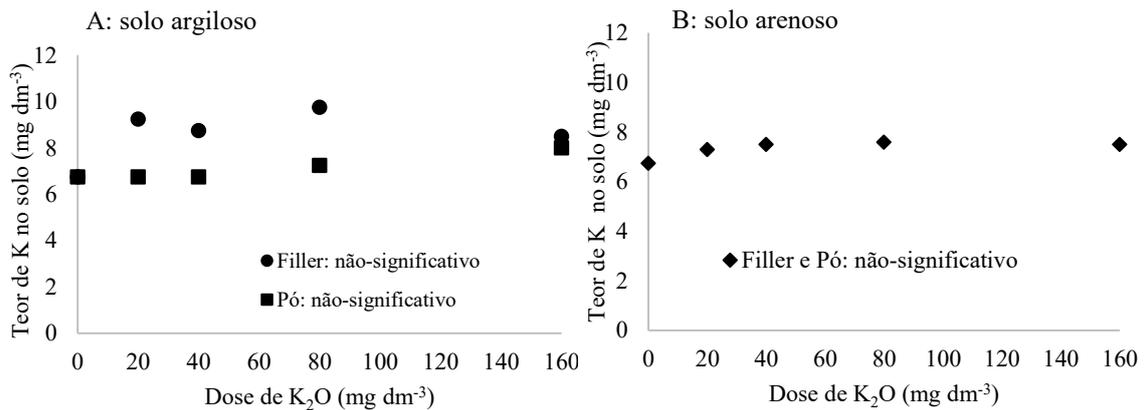


Figura 51. Teores de K em um LVd (A) e um RQo (B) em função de doses crescentes de K₂O proveniente do kamafugito filler e pó.

13.3.6.3. Ca no solo, Mg no solo e pH do solo

Observou-se que os teores de Ca no solo não aumentaram com a aplicação do kamafugito filler e pó no decorrer dos cultivos em relação à testemunha, porém a extração do nutriente nos cultivos da brachiaria foi alta. Para o solo argiloso os teores de Ca no solo são considerados médios (Souza & Lobato, 2002) e para o solo arenoso, em geral, estão de baixos a médios. O kamafugito na forma filler foi mais eficiente em incrementar os teores de Ca no solo arenoso nas doses de 6667 e 13336 mg dm⁻³ do produto, em relação a forma pó (Tabela 44).

Tabela 44. Teor de Ca nos solos arenoso e argiloso, em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó, 151 dias após aplicação.

Dose do kamafugito mg dm ⁻³	Ca no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	----- cmol _c dm ⁻³ -----					
1667	2,51	2,30	2,40	1,15 b	1,69 a	1,42
3334	2,42	2,55	2,49	1,56 a	1,41 a	1,48
6668	2,62	2,63	2,62	1,72 a	1,12 b	1,42
13336	2,87	2,54	2,70	1,65 a	1,04 b	1,34
Média	2,60 a	2,50 a		1,52	1,32	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,45; DMSDunnett = 1,26; CV (%) = 24,9;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,45; DMSDunnett = 0,60; CV (%) = 21,7.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Apenas a forma pó do kamafugito demonstrou comportamento significativo em

relação às doses do produto, sendo que a dose de aproximadamente 7000 mg dm⁻³ foi a que proporcionou maior teor de Ca no solo (Figura 52).

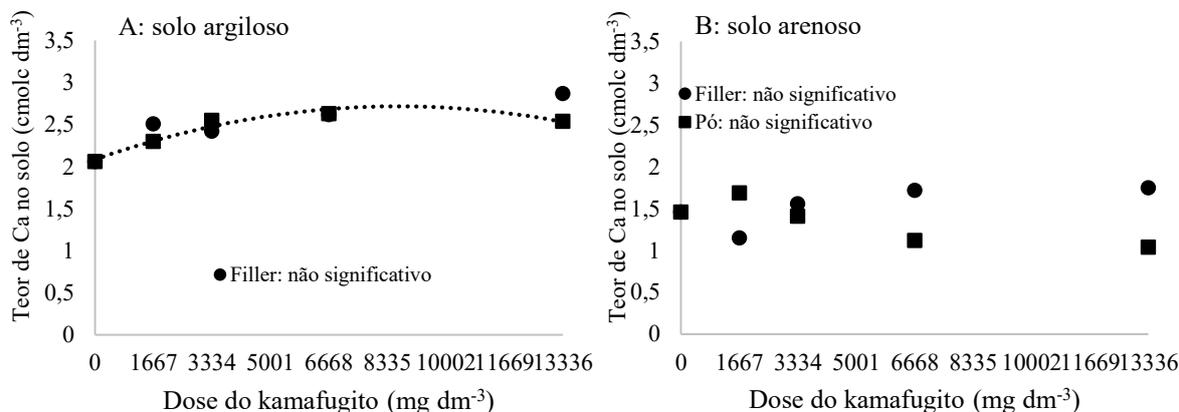


Figura 52. Teores de Ca em um LVd (A) e em um RQo (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Para o solo argiloso, de maneira geral, os teores de Mg no solo nos tratamentos com o kamafugito foram superiores em relação a testemunha, saindo de baixo (< 0,5 comlc dm⁻³) para médios (de 0,5 a 2,0 comlc dm⁻³), segundo Souza & Lobato (2002), apesar de não significativos estatisticamente (Tabela 45). Já para o solo arenoso a dose de 3334 mg dm⁻³ do produto aumentou de forma significativa o teor do nutriente no solo em relação a testemunha (Tabela 45).

Tabela 45. Teor de Mg nos solos arenoso e argiloso, em função da aplicação de doses do kamafugito filler e pó, 151 dias após aplicação.

Dose do kamafugito mg dm ⁻³	Mg no solo					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0	----- cmol _c dm ⁻³ -----					
0		0,47		0,25		
1667	0,74	0,62	0,68	0,29	0,37	0,33
3334	0,69	0,71	0,70	0,40	0,43*	0,42
6668	0,64	0,60	0,62	0,36	0,26	0,31
13336	0,63	0,61	0,62	0,38	0,25	0,31
Média	0,68 a	0,63 a		0,36 a	0,33 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,11; DMSDunnett = 0,29; CV (%) = 23,0;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,06; DMSDunnett = 0,17; CV (%) = 25,4.

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os teores de Mg no solo estão médios para o solo argiloso e baixos para o arenoso (Souza & Lobato, 2002). Tal fato ocorreu devido a grande extração do nutriente pelas plantas de brachiaria no 1º e 2º cultivo. Como discutido anteriormente, os baixos teores

de Ca e Mg no solo podem estar associados ao acúmulo dos nutrientes pelas plantas observada no primeiro e no segundo cultivo da brachiaria. Como os solos tropicais apresentam baixa disponibilidade de Ca e Mg, resultando em uma redução no crescimento da planta e no desenvolvimento das raízes, o uso de fontes de nutrientes de liberação lenta pode aumentar o nível desses nutrientes na solução do solo, bem como melhorar qualidade da forragem.

Não houve ajuste estatístico para as doses do kamafugito filler e pó em relação aos teores de Mg para ambos os solos (Figura 53).

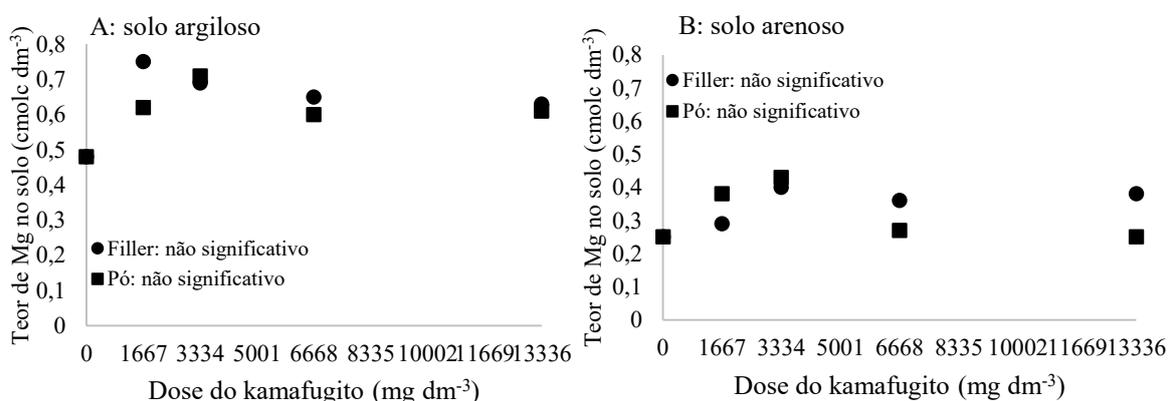


Figura 53. Teores de Mg em um LVd (A) e em um RQo (B) em função de doses crescentes de kamafugito filler e pó.

Em relação aos valores de pH, observou-se que exceto pela dose de 6668 mg dm⁻³ do kamafugito na forma pó para o solo arenoso, os outros tratamentos com o produto não aumentaram o pH do solo ao final dos cultivos, em relação a testemunha, de forma significativa (Tabela 46). Porém, em geral, os valores dos tratamentos com o kamafugito foram maiores em relação à dose 0 do produto, sendo que nas maiores doses, os valores de pH do solo se encontram adequados em ambos os solos, segundo Souza & Lobato (2002) (Tabela 46).

Tabela 46. Valores de pH de um RQo e um LVd, 151 dias após aplicação de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

Dosedo kamafugito mg dm ⁻³	pH CaCl ₂					
	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Filler	Pó	Média	Filler	Pó	Média
0		4,76			4,46	
1667	5,01	4,87	4,94	4,78	4,60	4,69
3334	4,93	4,98	4,95	5,02	4,65	4,84
6668	4,86	5,00	4,93	4,96	5,10*	5,03
13336	5,11	4,77	4,93	4,97	4,96	4,97
Média	4,97 a	4,90 a		4,93 a	4,82 a	

Solo Argiloso: DMSTukey = 0,16; DMSDunnett = 0,44; CV (%) = 4,4;

Solo Arenoso: DMSTukey = 0,22; DMSDunnett = 0,60; CV (%) = 6,1;

Médias seguidas por letras distintas, na linha, dentro de cada solo, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. * difere da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

As diferentes granulometrias do kamafugito não diferiram entre si quanto a eficiência em elevar o pH do solo (Tabela 46). Para a forma pó no solo argiloso a dose de aproximadamente 7000 mg dm⁻³ do produto foi a mais eficiente em aumentar o pH no solo (Figura 54).

Kudla et al. (1996) mencionaram que é pouco provável a correção da acidez em solos com alto poder tampão com o uso do pó de basalto. No entanto, em trabalho realizado por Knapik & Angelo (2007), foi observado elevação do pH do solo pela aplicação de pó de basalto em comparação com adubações convencionais. Esse resultado foi atribuído às maiores quantidades de Ca e Mg adicionadas pelo pó de basalto. Theodoro et al. (2006) observaram alterações positivas no pH do solo, empregando pó de rocha a base de piroxênio/anfibolito milonitizado, após um ano de experimento.

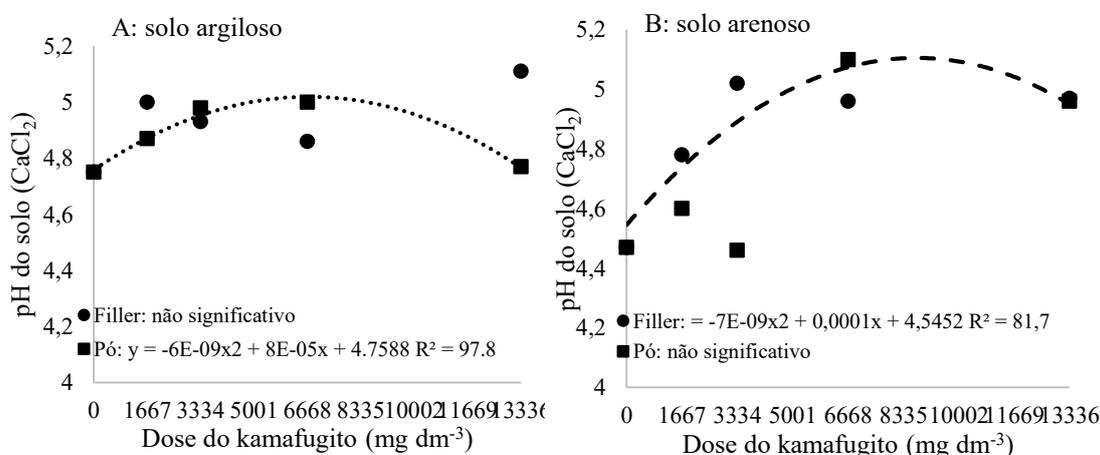


Figura 54. Valores de pH em um LVd (A) e em um RQo (B) em função de doses crescentes do kamafugito filler e pó.

14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma fonte insolúvel, para demonstrar sua eficácia em um curto espaço de tempo, se fez necessário a utilização de doses elevadas no campo. Há viabilidade na aplicação com doses nesses níveis no campo, porém, entende-se que o uso de remineralizadores deve ser visto como um processo de recuperação de solo ao longo do tempo, assim as quantidades preconizadas neste trabalho podem ser parceladas ao longo dos anos e aos poucos reduzir e substituir o uso de fertilizantes químicos trazendo benefícios para o solo e para o ambiente (harmonia com a microbiota do solo, menores perdas e menor contaminação da água subterrânea).

Assim, com os dados apresentados nesse estudo pode-se inferir que o kamafugito proporciona melhoria nos atributos do solo analisados, principalmente nos teores de P no solo e nas plantas, demonstrando potencial para substituir fontes solúveis gradualmente, com liberação mais lenta, menores perdas e conseqüentemente maior aproveitamento pelas plantas. Pode ser utilizado na construção da fertilidade do solo, em práticas como a fosfatagem, visando aumentar os teores de P no solo ao longo do tempo.

15. CONCLUSÕES

O kamafugito filler e pó alteraram de forma positiva a maioria das variáveis de desempenho nas culturas estudadas, incluindo os valores de MSPA e o acúmulo dos nutrientes na parte aérea (P, K, Ca e Mg).

Para ambas as culturas foram observados bons valores de IEA no 1º e 2º cultivo, uma vez que se trata de uma fonte de liberação mais lenta e com menor solubilidade em relação ao SFT e ao KCl.

As maiores doses do kamafugito (6334 e 13336 mg dm⁻³) proporcionaram os melhores resultados, e, entre as formas utilizadas do produto.

As granulometrias filler e pó apresentaram comportamento semelhante no incremento da produção e nos teores dos nutrientes em ambas as culturas.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 682-688, 1980.
- ASNER, G.P; ELMORE, A.J; OLANDER, L.P; MARTIN, R.E; HARRIS, A.T. Grazing systems, ecosystem responses, and global change. **Annu Rev Environ Resour.** 2004, p. 261-299.
- BAKKEN, A.K; GAUTNEB, H; SVEISTRUP, T; MYHR, K. Pedras esmagadas e rejeitos de minas aplicados como fertilizantes K em pastagens. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 56, 2000, p. 53-57, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009709914578>
- BURESH, R. J.; PAMPOLINO, M. F.; WITT, C. Field-specific potassium and phosphorus balances and fertilizer requirements for irrigated rice-based cropping systems. **Plant and Soil**, v. 335, 2010. p. 35-64.
- BROD, J. A. *et al.* The Kamafugite–Carbonatite association in the Alto Paranaíba igneous province (APIP), Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 2008, p. 408-412. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000303408412>
- CAIONE, G; LANGE, A; BENETT, C.G.S; Fernandes, F.M. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2011, p. 66-73. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.8497>
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; PRIETO, H. E.; NOVAIS, R. F. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. *In*: NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- CAKMAK, I. Protection of plants from detrimental effects of environmental stress factors. *In*: **Potássio na agricultura brasileira**. Anais do simpósio sobre Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, cap. 10, p. 261-279, 2005.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Formas de potássio em solos do RS, cultivados com arroz irrigado. *In*: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1999. Pelotas. Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999, p. 326-329.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio para o arroz alagado, em solos do RS. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1999, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999, p. 334-337.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Minerais fontes de potássio em dois planossolos do RS. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1999, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999, p. 330-333.

CASTRO, C. de; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, F. A. de; SALINET, L. H.; VERONESI, C. de O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Revista Espaço & Geografia**, [s.l.] v.9, n. 2, 2006, p. 179-193. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/54/5>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CASTRO NETO, M. T. de; SILVA, M. S. da. Utilização da farinha de rocha na produção de fruteiras. **In**: MARTINS, E. de S.; THEODORO, S. H. (ed) I Congresso Brasileiro de Rochagem, 2010, Planaltina DF. **Anais [...]**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010, p. 101-109.

COMPANHIA NACIONAL DE BASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos: 4ª levantamento: safra 2015/2016**, Brasília DF, 2016.

CRUSCIOL, C.A.C.; MACHADO, J.R.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F. Rendimento de benefício e de grãos inteiros em função do espaçamento e da densidade de semeadura do arroz de sequeiro. **Scientia Agricola**, v.56, 1999, p.47-52.

DARUNSONTAYA, T.; SUDDHIPRAKARN, A; KHEORUENROMNE, I; PRAKONGKEP, N.; GILKES, R.J. As formas e a disponibilidade de potássio do solo para plantas em relação à mineralogia para Latossolos e Argissolos de terras altas da Tailândia. **Geoderma**, 2012, p. 11-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.10.002>

DECHEN, A.R; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **In**: NOVAIS RF; ALVAREZ VVH; BARROS NF; FONTES RLF; CANTARUTTI RB; NEVES JCL (ed). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV. 2007, p. 92-132.

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Camberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995.

DIAS *et al.* Produção do capim piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19, 2015, p. 330-335. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118827352>

DUARTE, I. D. **Termopotássio: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira**. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Uberlândia, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999.

FAGERIA, N. K. *et al.* **Seja doutor do seu arroz**. Piracicaba, Potafos, 1995, 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9).

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, 2008, p.36-41.

FURTINI NETO, A.E; VALE, F.R; RESENDE, A.V; GUILHERME, L.R.G; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Lavras, ESAL/FAEPE. 2001, 252p.

GILKES, R. J.; HARLEY, A. D. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v.56, n. 1, p. 11-36, jan. 2000. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1009859309453> .

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Como a planta de arroz se desenvolve**. Piracicaba: POTAFOS, 2002, 2p. (Encarte técnico. Informações Agronômicas, nº 99).

GUEDES et al. Fosfato natural de Arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizanta* em Latossolo Amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista Ciências Agrárias**, 2009, p. 117-129. Disponível em <http://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/129/24>, acesso em 18 fev. 2021.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, 2001.

HANISCH *et al.* Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, n.2, 2013. p.100- 107.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**, 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI. **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas**, 2016.

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. **Nutrition studies on *Eucalyptus***. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. *Indian Forester*, v.96, n.10, 1970. p.787-90.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27p. (Documentos, 100).

KUDLA, A. P.; MOTTA, A. C. V.; KUDLA, M. E. Efeito do uso do pó de basalto aplicado em um Cambissolo Álico sobre o solo e crescimento do trigo. **Revista do Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v.15, n.2, p.187-195, 1996.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco equino na produção de Mudas de *Prunus sellowii* Koehne (Rosaceae). **Floresta**, Curitiba, v. 37, p. 427 - 436, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 2000, 531p.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? **Chemical Geology**, v. 60, n. 4, 1987. p. 361-370. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90143-4). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254187901434?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan 2021.

LUZ A. B.; FRANCISCO E. LOUREIRO L., SAMPAIO A. J., CASTILHOS Z. C., BEZERRA M. S. **Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos agrominerais para o Brasil**. Centro De Tecnologia Mineral Rio de Janeiro. Cap. IV, 2010. p. 61 – 88.

MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do solo. *In*: EMBRAPA-CPATB. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargill, 1985, p. 129-179.

MARIANO, E. *et al.* Biomass and Nutrient Content by Sugarcane as Affected by Fertilizer Nitrogen Sources. **Crop Science**. v.56, p.1-11, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2015.06.0349.

MARTINS E. S., SILVEIRA C. A. P., BAMBERG A. L., MARTINAZZO R., BERGMANN M., ANGÉLICA R. S., **Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture**. 16th World Fertilizer Congress of CIEC. 2014, p 138 – 140.

MARTINS, E. S., OLIVEIRA, C. G., RESENDE, A. V., MATOS, M. S. F. Agro minerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura. *In*: **Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações**, 2008, p.205-221.

MARTINS, V.; GONÇALVES, A.S.F; MARCHI, G.; GUILHERME, L.R.G; MARTINS, E.D.S. Solubilização de potássio em misturas de verdete e calcário tratadas termoquimicamente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45, 2015, p. 66-72.

MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Brasília: CETEM/MCT, 2007. (Série estudos e documentos, 72). Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/serie_sed.htm>. Acesso em: 09 jul. 2020.

MEURER, E.J. Potássio. *In*: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006, p.281-298.

MOHARANA, P.C; BISWAS, D.R. Assessment of maturity indices of rock phosphate enriched composts using variable crop residues. **Bioresource Technology**. 2016, p. 1- 3.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, 2002, p.239-250. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, 66 p. (Série Estudos e Documentos n. 61).

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1999, 399p.

OLIVEIRA, S. A. de; PAÇÔ, L. B. Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha itafôs, utilizados associadamente ou isolados ao superfosfato simples no Oeste da Bahia, para a cultura da soja. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM*, 1, 2010, Planaltina. **Anais [...]**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010, p. 93-100.

OLIVEIRA, P. P. A.; MARCHESIN, W.; Luz, P. H. C.; HERLING, V. R. **Guia de identificação de deficiências nutricionais em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico, 2007, 38p.

OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, v. 4, n. 20, p. 12-14, ago./set., 2003.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2008, 407 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, 2 ed. **rev. ampl.** Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1997, 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.VAN; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.33-37, 1982.

RAMOS, S.J; FAQUIN, V; RODRIGUES, C.R; SILVA, C.A; BOLDRIN, P.F. Produção de biomassa e uso de fósforo em gramíneas forrageiras adubadas com duas fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 209, p. 335-343. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200011>

RESENDE *et al.* Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, 9, 2006, p. 19-42. Disponível em: <http://lsie.unb.br/espacoegografia/index.php/espacoegografia/article/download/52/51>. Acesso em 15 ago. 2020

RIBEIRO, L.S; SANTOS, A.R; SOUZA, L. F.S; SOUZA, J.S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas e solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34, 2016, p. 891-897. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999.

RIETZ, D.N., HAYNES, R.J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology & Biochemistry**, v.35,2003, p.845-854. DOI: 10.1016/S0038-0717(03)00125-1.

SCIVITTARO, W. B. *et al.* **Adubação Nitrogenada e Potássica para Cultivares de Arroz Irrigado**. Circular Técnica 197, Embrapa, Pelotas RS: Embrapa, 2018, p. 21.

SILVA, A. da. Efeito da aplicação de pó de basalto nas propriedades químicas do solo, na nutrição e produtividade do feijoeiro e na absorção de nutrientes por *Eucalyptus*. 2007.

69 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007. Disponível em: http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/826/alinne_da_silva_jaime_antonio_de_almeida_31_1.pdf. Acesso em: 24 jan. 2021.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOURI, M.K. Effectiveness of chloride compared to 3,4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification inhibition in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.41. 2010, p.1769-1778. DOI: 10.1080/00103624.2010.489139.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002, p.147-168.

SOSBAI. Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXXI REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, Bento Gonçalves - RS. **Anais [...]**, Bento Gonçalves RS, 2016, 200p.

STEEN, Ingrid. Management of a non-renewable resource. **Journal: Phosphorus & Potassium**, n. 217, 1998, p. 25-31.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais...** da Acad. Bras. de Ciências, Rio de Janeiro. v.78, n.4, 2006, p. 715 720.

THEODORO, Suzi de Córdova Huff. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2000.

VIEIRA-MEGDA, M.X. *et al.* Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.72, 2014, p.84-87. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.01.030.

VOLKSWEISS, S.; RAIJ, B. Van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M. G., (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, Belo Horizonte. **Anais [...]**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977, p. 317-332.

YAMADA, T; ROBERTS, T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, 2005, 814 p.