

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

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO KAMAFUGITO COMO FONTE DE FÓSFORO E
POTÁSSIO PARA A CULTURA DO FEIJÃO

GEORGY FAROUTINE

2018

GEORGY FAROUTINE

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO KAMAFUGITO COMO FONTE DE FÓSFORO E
POTÁSSIO PARA A CULTURA DO FEIJÃO

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

Orientador
Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS, BRASIL
2018

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

F237e
2018 Faroutine, Georgy, 1990-
 Eficiência agronômica do kamafigito como fonte de fósforo e
 potássio para a cultura do feijão [recurso eletrônico] / Georgy Faroutine.
 - 2018.

 Orientador: Hamilton Seron Pereira.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
 Modo de acesso: Internet.
 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1385>
 Inclui bibliografia.
 Inclui ilustrações.

 1. Agronomia. 2. Solos. 3. Fertilizantes potássicos. 4. Rochas ígneas.
5. Adubos e fertilizantes. 6. Feijão-comum. I. Pereira, Hamilton Seron.
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. III. Título.

CDU: 631

GEORGY FAROUTINE

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO KAMAFUGITO COMO FONTE DE FÓSFORO
E POTÁSSIO PARA A CULTURA DO FEIJÃO

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

APROVADA em 19 de dezembro de 2018.

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

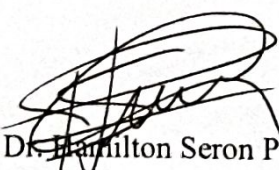
UFU

Prof. Dr. Enio Tarso de Sousa Costa

UFU

Profa. Dra. Mônica Sartori de Camargo

APTA


Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

DEDICATÓRIA

A Deus;

A minha família e a todos que colaboraram para a realização deste trabalho,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a Deus por me acompanhar e guiar ao longo dessa trajetória.

À minha família pela educação e valores que me inculcaram.

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) pela oportunidade e bolsa de estudos concedida.

A todos os docentes e pessoas do programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia que colaboraram para facilitar a minha adaptação no programa do estudo. Aos professores Denise Santana, Hamilton Seron Pereira e outros, pela confiança e orientação.

A todos os colegas e pessoas dos Laboratórios LAFER e LABAS e do Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (GPSi), especialmente Camila de Andrade Carvalho, Luiz Henrique, Jessica, João George, Barbara Campos e demais pessoas que colaboraram de uma forma ou outra para facilitar a realização do trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Demanda por fertilizantes na agricultura brasileira	3
2.2 O conceito de “Rochagem”	4
2.3 Remineralizadores de solo como fontes alternativas de nutrientes	5
2.4 Pó de rocha como fonte multinutriente de liberação lenta	6
2.5 Vantagens e limitações da rochagem	7
2.6 O kamafigito como fonte de nutrientes	8
2.7 Potássio no solo.....	10
2.8 Potássio na planta.....	11
2.9 Rochas minerais como fonte de potássio	11
2.10 Fósforo no solo.....	13
2.11 Fósforo na planta.....	14
2.12 Rochas minerais fosfáticas como fontes de fósforo	14
2.13 Resposta da cultura de feijão à aplicação do pó de rocha	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Instalação dos experimentos	18
3.2 Condução dos experimentos	20
3.2.1 <i>Tratamentos</i>	20
3.2.2 <i>Adubação, plantio e manejo da cultura</i>	21
3.3 Avaliações.....	21
3.3.1 <i>Parte aérea</i>	21
3.3.2 Análise de solo	21
3.3.3 Índice de eficiência agrônômica (IEA)	22
3.3.4 Percentual de K e P recuperado	22
3.4 Análises estatísticas.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Matéria seca (MS) e nutrientes acumulados na parte aérea de plantas	24
4.2 Análise de nutrientes (K, P, Ca e Mg) acumulados na parte aérea	39
4.2.1 K acumulado na parte aérea	39
4.2.2 P acumulado na parte aérea.....	42

4.2.3	Ca acumulado na parte aérea.....	45
4.2.4	Mg acumulado na parte aérea	47
4.3	pH e nutrientes (K, P, Ca, Mg) no solo	49
4.3.1	pH do solo	49
4.3.2	Teor de K no solo	52
4.3.3	Teor de P no solo	55
4.3.4	Teor de Ca no solo	58
4.3.5	Teor de Mgno solo	61
4.4	Percentual de potássio e fósforo recuperado	63
5	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS.....	66

RESUMO

FAROUTINE, GEORGY. **Eficiência agrônômica do kama fugito como fonte de fósforo e potássio para a cultura do feijão**. Uberlândia: UFU, 2019. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹

Para aumentar o rendimento em áreas cultivadas em solos tropicais, torna-se imprescindível o emprego de grandes quantidades de fertilizantes e corretivos. Isso aumenta os custos de produção nas fazendas e gera uma forte dependência à importação de insumos do mercado externo devido à baixa produção nacional. Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência agrônômica e a disponibilidade de nutrientes provenientes do pó de rocha kama fugito no desenvolvimento de plantas de feijão. Para tal, foram conduzidos, simultaneamente, dois experimentos em casa de vegetação do ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd) e outro em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo). Foram utilizados vasos plásticos contendo 5 dm³ de solo. Os experimentos foram instalados em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições em esquema fatorial 4x2+4, sendo quatro doses crescentes de kama fugito (1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³), duas granulometrias de kama fugito na forma de filler e de pó e quatro tratamentos adicionais, sendo o KCl (80 mg dm⁻³ de K₂O), o superfosfato triplo (252 mg dm⁻³ de P₂O₅), o combinado KCl+SPT e uma testemunha. Considerando a necessidade de correção para cada solo, foram aplicadas doses de CaCO₃ e MgCO₃ em todos os tratamentos a fim de corrigir o pH do solo e elevar sua saturação por bases. Foram calculados estes valores pelo método de saturação por base. Os tratamentos foram aplicados aos solos 60 dias antes da semeadura. Foram realizados dois cultivos consecutivos com a cultura do feijão, cujos ciclos de cultivo tiveram duração de 42 dias. Ao término de cada cultivo foram avaliados os valores de matéria seca da parte aérea das plantas, bem como o K, P, Ca e Mg acumulados, pH do solo e teores de K, P, Ca e Mg nas plantas e no solo. Também foram avaliados o índice de eficiência agrônômica (IEA) do kama fugito e a porcentagem de K e P recuperado na matéria seca da parte aérea. Não foram observados diferenças entre as granulometrias do kama fugito para a maioria das variáveis analisadas. O aumento das doses de kama fugito promoveu acréscimos lineares na maioria das variáveis analisadas. Nas maiores doses, o kama fugito demonstrou resultado comparável ao KCl. A aplicação do kama fugito resultou em maior disponibilização de nutrientes no segundo cultivo e maior índice de eficiência agrônômica para ambas as formas do produto. O índice de eficiência agrônômica do kama fugito foi superior à fonte KCl, porém, inferior aos tratamentos SPT e KCl+SPT. O kama fugito demonstrou bom efeito residual para o P, apresentando maior valor de IEA no segundo cultivo. O kama fugito apresentou percentual de K e P recuperado superior ao KCl em ambos os solos e inferior ao superfosfato triplo.

Palavras-chaves: Solo. Fertilizantes potássicos. Pó de rocha. Adubos. Feijão-comum.

¹ Orientador: Hamilton Seron Pereira – UFU.

ABSTRACT

FAROUTINE, GEORGY. **Agronomic efficiency of kamafugite as source of phosphorus and potassium for bean crop.** Uberlândia: UFU, 2019. 76 p. Dissertation (Master in Agronomy/Soil Sciences) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia²

To increase the yield of cultivated areas in tropical soils, it is indispensable the use of large amounts of fertilizers and correctives. This increases the costs of production on farms and generates a strong dependence on imports inputs from the external market due to low domestic production. In this context, this study aimed to evaluate the agronomic efficiency and the availability of nutrients from the kamafugite rock dust in the development of bean plants. To this end, two experiments were conducted in plastic pots in the ICIAG's greenhouse at the Federal University of Uberlândia, Umuarama campus. The first experiment was conducted in a clayey soil (Typic Dystrustox) and the second in a sandy soil (Typic Quartzipsamment), over two consecutive crop cycles. Each pot contained 5 dm³ of soil. The experimental design was a randomized complete block (RCB), with four replications, in a 4x2+4 factorial scheme, using four increasing kamafugite doses (1667, 3334, 6668, and 13336 mg dm⁻³), two kamafugite granulometry (filler and powder) and four additional treatments: potassium chloride (KCl = 80 mg dm⁻³ K₂O), triple superphosphate (TSP = 252 mg dm⁻³ P₂O₅), KCl + TSP and a control treatment. Considering the acidity and the base saturation levels of each soil, doses of CaCO₃ and MgCO₃ were applied in all treatments in order to increase the pH level of the soils and raise their bases saturation up to 70%. The treatments were incorporated into the soils and left in incubation for 60 days before sowing. Two consecutive cultivations were carried out with the bean culture, every one lasted 42 days. At the end of each cropping, the dry matter (DM) yield of the aerial part of the plants was evaluated, as well as the pH and the contents of K, P, Ca and Mg in the soil and accumulated in the plants. Likewise, the agronomic efficiency index (AEI) of the products and the percentage of K and P recovered in the dry matter of the aerial part of the plants were evaluated. Most of the analyzed variables did not show differences between the granulometry of the kamafugite. The kamafugite promoted linear growth in almost all the analyzed variables as its doses were increased. At higher doses, the kamafugite showed comparable result to KCl. The application of the kamafugite showed greater availability of nutrients in the second crop and higher agronomic efficiency index for both forms of the product. The agronomic efficiency of the kamafugite was higher than KCl, however, lower than the TSP and KCl+TSP treatments. The kamafugite showed good residual effect for P, with higher AEI in the second cropping. The percentage of K and P recovered in the kamafugite treatment was higher than KCl in both soils, but inferior to the triple superphosphate treatments.

Keywords: Soil. Potassic fertilizer. Rock dust. Fertilizers. Common bean.

² Supervisor: Hamilton Seron Pereira – UFU.

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo e o manejo indevido conduzem à degradação dos solos. Esta degradação está associada aos fatores antrópicos (desmatamento, remoção da cobertura vegetal, atividade agropecuária intensiva, etc...) e climáticos (mudança nos padrões climáticos, períodos extensos de chuvas e de seca), os quais reduzem consideravelmente o rendimento das áreas cultivadas. De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a degradação do solo está aumentando em severidade e extensão em muitas partes do mundo, com mais de 20% das terras agrícolas afetadas, 30% das florestas e 10% das pastagens (FAO, 2008). Uma vez que o solo é um recurso natural dinâmico, sendo o principal meio para o desenvolvimento das plantas e um dos principais fatores de produção, o bom manejo desse recurso é chave para garantir sua eficiência produtiva.

Os solos tropicais são classificados como ácidos, intemperizados e pobres em nutrientes (SILVA; SOUZA, 1998). Nesses solos a produção da maioria das culturas é fortemente dependente do aporte de fertilizantes no sistema solo-planta (SILVA; SOUZA, 1998). Os solos brasileiros não são isentos dessa situação. Geograficamente, os solos brasileiros estão predominantemente sob domínio climático tropical, se encontram desde o extremo norte do estado de Roraima até a cidade de São Paulo (ALMEIDA; ZARONI; SANTOS, 2013). Normalmente estes solos apresentam baixa fertilidade, alta acidez e teores elevados de alumínio, o que limita o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular das plantas (BORSARI, 2016). 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, mas representa apenas 2% da produção mundial de adubos (LOBO, 2008). Estudo da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) indica que a produção agrícola no Brasil deverá aumentar em 40% até 2019 e, para que essa projeção se concretize, o consumo de insumos agrícolas no país deverá aumentar (NERY, 2011). A insuficiência da produção nacional de potássio (K), fósforo (P), compostos nitrogenados e enxofre (S) (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009) gera uma dependência do mercado externo. Dessa forma, essa dependência resulta na importação de 75% de nitrogênio (N), 48% de fósforo (P) e 92% de potássio (K) para atender a

demanda interna por fertilizantes (RIBEIRO, 2016). Essa situação tende a desequilibrar a balança comercial do país, representando um dos maiores desafios do agronegócio brasileiro (NERY, 2011).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um grão com alto valor proteico, o qual está muito presente na dieta humana tanto no Brasil quanto no mundo, sendo um dos produtos básicos da alimentação dos brasileiros, principalmente para as famílias mais carentes. O consumo per capita de feijão no Brasil em 2016 foi de aproximadamente 15,15 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ (WANDER, 2017), sendo considerado uma das principais culturas agrícolas do país e produzido por agricultores com diferentes níveis tecnológicos, em diferentes escalas, regiões e sistemas de produção (SILVEIRA *et al.*, 2015). Com ciclo produtivo relativamente curto, em torno de 90 dias, o cultivo do feijão é facilitado como cultura de sucessão dentro de diversos sistemas de produção agrícola (BARBOSA; GONZAGA, 2012). Ressalta-se ainda que a agricultura familiar é responsável pela produção de quase 70% de feijoeiro-comum a nível nacional (BARBOSA; GONZAGA, 2012) e grande parte destes produtores são pessoas com menores recursos para custear os adubos e corretivos. Segundo Nery (2011), cerca de 80% das propriedades produtivas brasileiras são de pequenos produtores que usam pouca ou nenhuma tecnologia ou fertilizantes e aproximadamente 60% dos estabelecimentos agrários não aplicam nenhum tipo de fertilizante. Assim, o uso de fertilizantes alternativos seria a opção viável e de baixo custo para o cultivo do feijão, especialmente tratando-se de fontes de K e P, os quais são elementos muito importantes na produção dessa cultura (TEIXEIRA FILHO *et al.*, 2016).

Hoje a demanda por alimentos produzidos com baixos insumos químicos está em constante crescimento. Diante do exposto, várias fontes alternativas de nutrientes, como adubos orgânicos e rochas minerais que apresentam potencial de melhorar a fertilidade e a produtividade dos solos, estão sendo testadas e incorporadas ao longo dos anos (STRAATEN, 2002). Os minerais geológicos, a exemplo das rochas fosfatadas e dos sais de potássio disponíveis naturalmente, sejam em formas processadas ou brutas, são identificados como fontes locais de fertilizantes rochosos e são aplicáveis para o manejo sustentável do solo e para a produção agrícola (STRAATEN, 2002). Neste sentido, 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 um produto mais competitivo no mercado.

Para reduzir a dependência externa por fertilizantes, remineralizar os solos empobrecidos e propor uma opção mais acessível para os agricultores, especialmente àqueles de baixa renda, a rochagem é uma alternativa promissora. Nessa perspectiva, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência agronômica e a disponibilidade de nutrientes provenientes do pó de rocha do kamafigito no desenvolvimento de plantas de feijão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

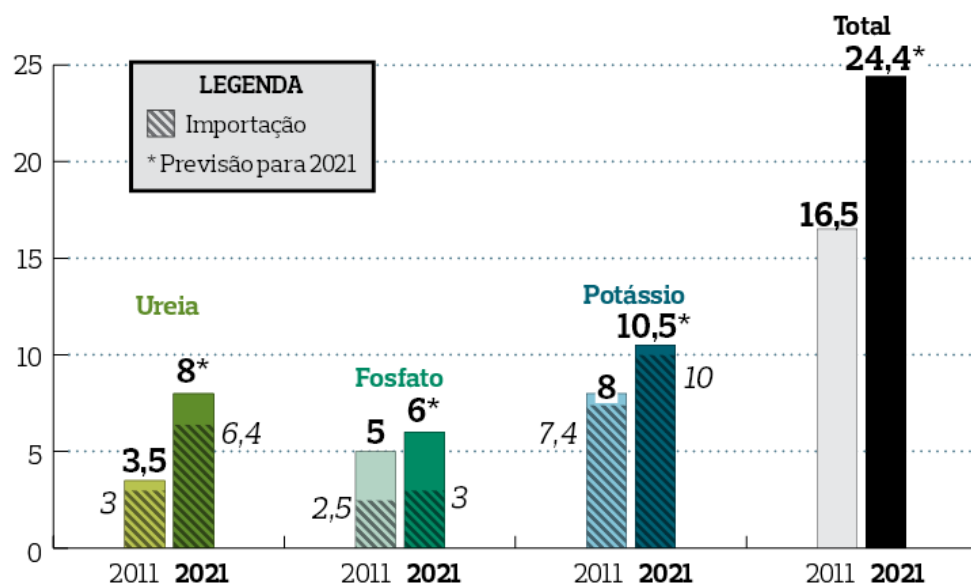
2.1 Demanda por fertilizantes na agricultura brasileira

O Brasil representa um dos pilares da agricultura mundial. Atualmente é um importante produtor e exportador de produtos agrícolas. O potencial produtivo do país continua expandindo e impulsionando a sua economia. Mas isso implica o uso de grandes quantidades de insumos agrícolas, o que aumenta a demanda por fertilizantes.

O setor de fertilizantes apresentou os maiores índices de crescimento mundial e, segundo dados da Associação Internacional de Fertilizantes (IFA, sigla em inglês), o Brasil superou de maneira consistente o crescimento em relação aos demais países do mundo nos últimos anos. O crescimento populacional, a disponibilidade limitada de terras agricultáveis, o crescimento do PIB per capita em países em desenvolvimento, o potencial de terras exploráveis, a economia agrícola e a energia renovável são considerados como principais fatores que influenciam o crescimento da demanda por fertilizantes (RIBEIRO FILHO, 2015).

As projeções da IFA, sobre um período de dez anos (2011 – 2021), confirmam que o consumo de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos na agricultura brasileira deve crescer em 8 milhões de toneladas. Somando os três principais elementos (N-P-K) usados pela agricultura, o consumo foi de 16,5 milhões de toneladas em 2011 e projeta-se demanda de 24,5 milhões de toneladas até o fim de 2021 (BRASIL, 2017). Pela figura 1 constata-se a relação entre a quantidade de fertilizantes consumida em 2011 e a previsão para 2021.

Figura 1: Relação entre a quantidade de fertilizantes consumida (em milhões de toneladas) em 2011 e a previsão para 2021



Fonte: IFA [2010]

As projeções feitas pela IFA afirmam que o mercado brasileiro deve continuar dependente de fornecedores externos para suprir o abastecimento interno. Rodrigues (2009) mencionou que 70% dos fertilizantes utilizados no país são derivados de fontes convencionais de nutrientes (FCN) importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK, de elevada concentração e alta solubilidade.

Além do alto custo referente ao transporte destes produtos, a oscilação de seu preço no mercado brasileiro também constitui limitações para a utilização desses insumos. Associada a essas condições, tem-se ainda no meio rural brasileiro uma grande parcela de pequenos produtores que praticam a agricultura familiar usando baixo nível tecnológico. Neste contexto, a remineralização natural dos solos (rochagem), a agricultura orgânica e o plantio direto constituem alternativas para esses produtores (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009). Assim, a rochagem e os adubos orgânicos como fonte de macro e micronutrientes apresentam grande importância socioeconômica na produção sustentável de alimentos, principalmente para a agricultura familiar (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

2.2 O conceito de “Rochagem”

Rochagem, remineralização e pó de rocha são termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor o perfil de nutrientes em solos de baixa fertilidade natural ou exauridos pelo uso intensivo. Essa

reposição é necessária para sustentar uma agricultura de alta produtividade, associada à elevada demanda por produtos de qualidade (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009). Essa técnica é considerada como um processo alternativo sustentável ou complementar para a fertilização dos solos. Com essa técnica o emprego de fertilizantes químicos pode ser reduzido, diminuindo tanto os custos quanto os impactos ambientais (ROCHAGEM..., 2013).

O uso de rochas moídas (pó de rochas) na Holanda, Suíça e Alemanha era uma tradição, mas estava em oposição aos interesses industriais (PINHEIRO, 2011). Apesar de ter sido uma prática antiga no Japão e na Europa, no Brasil é uma prática recente e deve-se ainda entender mais sobre o emprego de pó de rocha para recuperação, remineralização e preservação da fertilidade do solo (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009; GUELFIL-SILVA, 2012).

A rochagem pode contribuir para a redução no consumo de fertilizantes industriais que exigem grande quantidade de energia para sua fabricação e ser um agente dinamizador de produtividade e qualidade do pequeno agricultor (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009). Theodoro (2000) verificou a eficácia da técnica da rochagem comparando a fertilização convencional com o pó de rocha. Ao longo de quatro anos o autor comprovou que, além do baixo custo da técnica de rochagem, maiores produtividades nas culturas de ciclo longo, como a cana-de-açúcar e a mandioca, foram obtidas. No caso de culturas de ciclo curto, como milho e arroz, os resultados foram semelhantes. Além disso, com a técnica de rochagem, houve um ganho econômico significativo com a redução dos fertilizantes ao final dos quatro anos (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

2.3 Remineralizadores de solo como fontes alternativas de nutrientes

O Brasil, sendo um país tropical, possui certas condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da agricultura. Ao mesmo tempo, essas condições propiciam a decomposição rápida das rochas, o que propicia a ocorrência de solos ácidos e desmineralizados, ou seja, solos quimicamente pobres em nutrientes com perdas excessivas nas reservas de seus constituintes minerais. Diante desta situação, está sendo utilizadas grandes quantidades de fertilizantes a fim de recuperar a produtividade destes solos, o que cria uma dependência por insumos externos (RIBEIRO, 2016).

Em busca de formas sustentáveis de produção e redução da dependência às fontes sintéticas de nutrientes, a utilização de pós de rochas silicáticas

(remineralizadores de solo) é uma alternativa muito promissora para remineralização de 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 (RIBEIRO, 2016).

De forma hipotética, 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).

2.4 Pó de rocha como fonte multinutriente de liberação lenta

A decomposição natural das rochas é a principal fonte de nutrientes para as plantas em ecossistemas naturais (HEIM *et al.*, 2010). Nos sistemas agrícolas, os nutrientes removidos pelas culturas são reabastecidos por fertilizantes NPK solúveis, resultando 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 e não sustentam os reservatórios de micronutrientes que, em pequenas quantidades, são essenciais para o crescimento das plantas, uma prática que pode resultar na redução da fertilidade dos solos (HEIM *et al.*, 2010).

Os pós de rochas podem ser utilizados como fontes de fertilizantes de liberação lenta em sistemas agrícolas extensivos (HEIM *et al.*, 2010). Com exceção do N, são capazes de aportar ao solo vários nutrientes (HEIM *et al.*, 2010). Ao longo dos anos as rochas liberam quantidades desejáveis de nutrientes para as plantas. É 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, pela ação do intemperismo (THEODORO *et al.*, 2012). No entanto, tal processo pode ser acelerado pelo tipo de manejo, bem como depende principalmente da mineralogia do material, da granulometria do produto, do clima e da biologia do solo. Assim, são considerados fertilizantes de baixa solubilização (THEODORO *et al.*, 2010).

Os minerais de liberação lenta (apatita e biotita) são provavelmente alternativas aos sais convencionais de liberação rápida de P, K e Mg. A acidez do solo é

neutralizada de forma constante pela solubilização da biotita, o que melhora o pH do solo ao longo prazo. Em campos de *Calluna vulgaris* e *Vaccinium myrtillus*, observaram-se aumento moderado do pH do solo a partir da aplicação de apatita e biotita (AARNIO *et al.*, 2003).

2.5 Vantagens e limitações da rochagem

A técnica de rochagem é considerada uma tecnologia social de fácil aquisição e de baixo impacto ambiental (THEODORO *et al.*, 2012). 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.*, 1976, 1999; THEODORO, 2000; THEODORO; LEONARDOS, 2006; STRAATEN, 2007). O uso dessa tecnologia pode apresentar vantagens e limitações. Citam-se algumas vantagens da rochagem em relação aos fertilizantes industriais solúveis:

- É um insumo de baixo custo disponibilizado naturalmente. Configura-se como um banco de nutrientes e depende da dose utilizada, pois fornece somente a quantidade demandada pelas plantas (THEODORO *et al.* 2010), com o consequente aumento da produtividade (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).
- Possibilidade de reequilíbrio do pH do solo (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).
- Contribuição para o aumento da atividade de microrganismos e de minhocas (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).
- Aumento da reserva nutricional, da quantidade e qualidade do húmus e da matéria orgânica com reflexo no melhor desenvolvimento das plantas e recobrimento do solo, minimizando os problemas de erosão (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).
- Maior resistência das plantas à ação de pragas, doenças, secas e geadas, pela melhoria do estado nutricional (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, 2011).

- 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).

A tecnologia da 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).
- 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).

Na região de Lages e Anitápolis, Santa Catarina, por exemplo, há várias rochas alcalinas contendo fonolitos, olivina, melilitita e carbonatitos, ricas em potássio nas estruturas cristalinas (SCHEIBE, 1986; COMIN-CHIARAMONTI *et al.*, 2002; COLA; SIMÃO, 2012). Entretanto, devido aos baixos teores solúveis desse nutriente, esses materiais têm sido pouco utilizados como fertilizantes para as plantas (COLA; SIMÃO, 2012). De acordo com Harley e Gilkes (2000), a maior desvantagem da rochagem em relação ao uso de fertilizantes mais concentrados reside na dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para as plantas.

A lenta solubilização dos minerais e, conseqüentemente, dos nutrientes para as plantas, é considerada uma das principais limitações de uso da rochagem. Neste contexto necessita-se de mais estudos científicos sobre diferentes metodologias de avaliação da solubilidade das rochas e de sua utilização na agricultura.

2.6 O kamafigito como fonte de nutrientes

Kamafigito 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). Podem encontrar tais rochas em apenas quatro localidades no mundo: Uganda, Itália, Brasil e

China. A natureza ultrapotássica dessas rochas está relacionada ao excesso de K_2O em relação a Na_2O . Tal condição permite a cristalização de minerais ricos em K como flogopita, leucita e kalsilita (MELO, 2012). Sahama (1974) e Wernick (2004) relataram que rochas contendo flogopita são formadas sob condições de elevadas pressões de vapor de água, enquanto que rochas portadoras de leucita, kalsilita e Mg-olivina indicam cristalização sob condições de baixa pressões de vapor de água, que são condizentes com ambientes vulcânicos a subvulcânicos. Outra característica interessante dos kamafugitos é a sua associação com os carbonatitos, conforme documentado em províncias alcalinas de Uganda, Itália e China.

Segundo Foley *et al.* (1987), as rochas kamafugitas apresentam baixo conteúdo de SiO_2 , Na_2O e Al_2O_3 , alto de CaO e são formadas, predominantemente, em áreas distensivas (ambiente de *rifts*) e são caracterizadas por enriquecimento em elementos incompatíveis.

Como se sabe, a solubilização de fosfato nas rochas vulcânicas do Grupo Mata da Corda ocorre praticamente em toda a região de ocorrência da unidade e tem sido alvo sistemático de pesquisas desde a década de 1990. Em geral, são de baixa solubilização, entre 1,5% e 2,5% P_2O_5 , com ocorrências pontuais que podem atingir teores de até 25% de P_2O_5 . A solubilização ocorre em diferentes fases de minerais fosfáticos (grupo da apatita e grupo dos aluminofosfatos) e com minerais de minério de granulometria muito fina, o que dificulta a obtenção de rotas de concentração do minério.

Theodoro (2000) destacou elevados valores de potássio (K_2O) e fosfato (P_2O_5) 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 também destaca os solos derivados dessas rochas como os mais férteis do Brasil, os quais suportaram, no passado recente, uma das mais exuberantes florestas do Centro-Oeste, a Mata da Corda.

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

Nascimento *et al.* (2008) destacam os fonolitos de Poços de Caldas - MG, cujos teores de K_2O podem atingir até 12% devido ao alto conteúdo do mineral leucita, um feldspatóide com até 21% de K_2O . Ainda em respeito ao trabalho de Nascimento *et al.* (2008), observa-se a indicação das rochas vulcânicas da Mata da Corda, MG, como

fontes potenciais de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e de micronutrientes (Fe, Cu, Co, Mn, Ni, Zn, etc).

Os kamafeugitos, quando intemperizados, são importantes fontes de argilas 2:1, tais como vermiculita e esmectita. Essas argilas, quando presentes no solo, aumentam a sua capacidade de troca catiônica (CTC) e a sua capacidade de retenção de água (CRA). Esses fatores são importantes na manutenção e fixação de cátions solúveis, tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e outros micronutrientes, que são adsorvidos pelas argilas 2:1. Consequentemente, solos com alta fertilidade estão associados a formação de argilas 2:1 (MARTINS *et al.*, 2014).

2.7 Potássio no solo

O K é o sétimo elemento químico mais abundante na crosta terrestre. O elemento pode ser encontrado em rochas, solos, oceanos, lagos e salinas residuais de lagos salgados, embora nestas ocorrências raramente seja observado um teor superior a 10%. Teores mais elevados são observados nos minerais evaporíticos e nos silicatos de potássio (OLIVEIRA, 2009).

Considerando a sua disponibilidade para as plantas, o K pode ser encontrado em vários compartimentos no solo: i) K não trocável, o qual pode ser dividido em K estrutural (mineral) ou K fixado, tornando-se disponível apenas quando os componentes estruturais dos minerais sofrem intemperização; ii) K trocável, encontrando retido às cargas negativas do solo, sendo facilmente trocável por um sal neutro não tamponado e; iii) K na solução do solo, aquele prontamente disponível para as plantas. Os dois últimos compartimentos representam formas de disponibilidade imediata para absorção pelas plantas (MIELNICZUK, 1982; LANA; NEVES, 1994), enquanto que o K fixado é geralmente considerado como lentamente disponível e o K estrutural está praticamente indisponível (SILWAL, 2013). A fração solúvel de K é menor nos solos orgânicos comparado aos demais (MADER *et al.*, 2002). A disponibilidade de K para as plantas depende, além da quantidade de K trocável (fator quantidade -Q) e de K em solução (fator intensidade -I), da relação entre essas formas (Q/I), que por sua vez determinam a capacidade dos solos em manter determinada concentração de K na solução, que são absorvidos pelas plantas ou perdidos no solo (SILVA *et al.*, 2000).

A redução da concentração de K na solução do solo e de K trocável pode ocorrer pela absorção desse elemento pelas plantas e/ou lixiviação no solo (ØGAARD; KROGSTAD, 2005). A remoção de materiais de plantas frescas do campo também leva

a altas perdas de K (BECK; SANCHEZ, 1994; SILWAL, 2013). Segundo Sanzonowickz e 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 o pó de rocha, a exemplo do kamafugito avaliado neste estudo.

2.8 Potássio na planta

O K é indispensável para o ciclo de vida das plantas. O nutriente é transportado na solução do solo até as raízes das plantas por difusão. Ao ser absorvido pelas células da raiz, é transportado pelo vaso condutor para as diversas partes das plantas (BRAGA, 2010). Esse nutriente também pode ser redistribuído, sendo esse deslocamento realizado pelo floema.

Nas plantas, o K pode ser considerado regulador osmótico e transportador de carboidratos (HIRSCH *et al.*, 1998). Trata-se de um nutriente altamente móvel dentro da planta, o qual influencia na regulação da abertura e do fechamento dos estômatos e na absorção de água pelas células da raiz (STRAATEN, 2007). Entre as principais funções do K na planta, destaca-se o equilíbrio osmótico, abertura e fechamento de estômatos (BRADY, 1990), a ativação enzimática, a formação de amido, a translocação de carboidratos, melhorias na eficiência de uso da água e muitos outros (STRAATEN, 2007).

2.9 Rochas minerais como fonte de potássio

Mesmo que os silicatos ricos em K, como o feldspato potássico, a moscovita e a leucita, contenham entre 10 e 20% de K_2O equivalentes e sejam abundantes na crosta terrestre, não constituem importantes fontes de K. Esses minerais não são solúveis em água e suas estruturas não são rompidas com facilidade por meios naturais (OLIVEIRA, 2009). O aproveitamento de rochas ígneas como fontes de K limita-se às áreas de exploração de outros elementos, onde o nutriente é obtido como subproduto. Os depósitos evaporíticos constituem as mais importantes fontes de sais de K, pois os sais derivados desses depósitos são muito solúveis em água e podem ser explorados e processados mais facilmente (OLIVEIRA, 2009).

Os principais compostos evaporíticos de K são a silvita (KCl), contendo 63% de K_2O ; a carnalita ($KCl.MgCl_2.6H_2O$), contendo 17% de K_2O ; a cainita ($KCl.MgSO_4.3H_2O$), contendo 19% de K_2O ; a langbeinita ($K_2SO_4.2MgSO_4$), contendo 23% de K_2O ; a polialita ($K_2SO_4.MgSO_4.2CaSO_4.2H_2O$), contendo 15,6% de K_2O ; a

schoenita ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$), contendo 23,4% de K_2O e; a singernita ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$), contendo 28% de K_2O (OLIVEIRA, 2009). Embora faça parte de centenas de minerais, apenas a silvita e a carnalita são amplamente utilizadas na obtenção de K. O uso de silvinita ($KCl + NaCl$) corresponde ao minério explotado como fonte do nutriente no Brasil (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009).

Nas muitas regiões do Brasil são encontradas reservas de minerais primários com teores relativamente altos de K (TÁVORA, 1982; NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004). A maioria dos minerais que possuem K em sua estrutura é insolúvel ou pouco solúvel, havendo certa dificuldade na obtenção do elemento (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004; MARTINS *et al.*, 2008). Para Martins *et al.* (2008), os silicatos ricos em potássio, tais como os feldspatos potássicos, a muscovita e a leucita, não se constituem importantes fontes desse nutriente, já que não são solúveis em água e suas estruturas são rompidas, com dificuldade, por meios artificiais.

No período de 1970 – 1980 foram desenvolvidas várias pesquisas em casa de vegetação e no campo com o objetivo de avaliar o potencial agrônomo de diversas rochas e minerais no fornecimento de K (COELHO, 2005; MARTINS *et al.*, 2008). Carnalita, biotita, leucita, nefelina sienita, mica xisto, feldspato potássico, clorita xisto, muscovita e verdetite foram alguns dos minerais e rochas avaliados (MARTINS *et al.*, 2008). As rochas e minerais foram aplicados puros ou em misturas, *in natura*, ou após sofrerem algum processo químico (acidificação) ou térmico com o objetivo de aumentar a reatividade e solubilização desses materiais. Contudo, os resultados obtidos nesses estudos indicaram que, na maioria das vezes, a eficiência agrônoma das rochas depende da sua origem e composição, bem como do solo, do tempo de incubação, do tratamento químico ou térmico aplicado e das culturas utilizadas. Em geral, a possibilidade de utilização direta dessas rochas foi descartada devido à baixa disponibilização de K às plantas. Foram necessários tratamentos químicos ou térmicos para aumentar a solubilidade das rochas, o que se mostrou inviável economicamente pelo elevado custo do processamento industrial. Enfim, as estratégias testadas não constituem vantagem competitiva em relação ao fertilizante solúvel tradicional (KCl) (MARTINS *et al.*, 2008).

Os feldspatos alcalinos e os feldspatóides (silicatos anidros similares aos feldspatos, porém com menor quantidade de sílica) são considerados fontes potenciais de K para a fabricação de fertilizantes, tanto na forma de sais, como na forma de

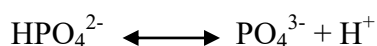
termofosfatos ou para aplicação direta ao solo. Nesses dois grupos enquadram-se o ortoclásio, o microclínio e a leucita. Os dois primeiros são feldspatos e a leucita é um feldspatóide. As micas, dentre os minerais silicatados, constituem o grande potencial para a extração de K, devido ao seu considerável teor de K₂O e ocorrência abundante (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004).

De acordo com Castro *et al.* (2005), Resende *et al.* (2005) e Martins *et al.* (2008), várias rochas podem ser mais efetivas no suprimento de K, mesmo quando aplicadas *in natura*. Os minerais portadores de K nessas rochas são flogopita, biotita e/ou feldspatóides, os quais possuem as solubilidades mais elevadas entre os silicatos. Esses minerais mostraram significativa liberação de K em testes de laboratório e em solos incubados. Tais rochas têm apresentado potencial promissor para uso como fontes de K quando moídas e utilizadas de maneira análoga ao calcário.

2.10 Fósforo no solo

O P é o décimo elemento mais abundante na terra e é um nutriente para todos os organismos (TAMBURINI *et al.*, 2014). O conteúdo de P das rochas é comumente entre 500 e 1400 µg P g⁻¹, dependendo do tipo de rocha mãe (MENZIES, 2009). O P no solo pode ser dividido em três grupos que diferem quanto à sua disponibilidade para as plantas. Esses grupos são o P prontamente disponível (P na solução do solo), o P liberado rapidamente do solo para reabastecer a solução do solo (P-lábil) e o P relativamente de difícil solubilização ou não disponível (P-não lábil) (MENZIES, 2009). Mais de 80% do P é imóvel e não está prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas devido à adsorção, precipitação ou à conversão a forma orgânica (SCHACHTMAN *et al.*, 1998). A elevada capacidade do solo de fixação de P reduz a lixiviação desse nutriente (SILWAL, 2013).

As espécies iônicas de fosfato na solução do solo dependem do pH. Em solução diluída, o ácido ortofosfórico dissocia-se em três formas (LINDSAY, 1979; FAGERIA, 1992), de acordo com a seguinte equação:



A absorção de fósforo pelas plantas ocorre principalmente na forma de íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} . A proporção desses dois íons na solução do solo é governada pelo pH. Em pH igual a 5, a maioria do P está na forma de H_2PO_4^- e, em pH igual a 7, esses dois íons estão presentes mais ou menos em proporções iguais (FAGERIA *et al.*, 2017).

2.11 Fósforo na planta

O P é um nutriente para as plantas, representa teores de cerca de 0,2% na matéria seca. É um nutriente fundamental em muitos processos biológicos, uma vez que está envolvido na transferência de energia e é o constituinte de várias moléculas orgânicas (WESTHEIMER, 1987). Além disso, trata-se de um componente chave das moléculas de ácidos nucleicos, fosfolípidios e ATP na célula vegetal (SCHACHTMAN *et al.*, 1998).

O P é importante nas plantas para a realização de vários processos metabólicos, como a fotossíntese e a fixação de nitrogênio (BRADY, 1990). Hogh-Jensen *et al.* (2002) relataram que não há crescimento de plantas após a escassez aguda de P. Como sintomas de deficiência de P observados nas plantas, destacam-se a aparência de cor verde azul escuro nas folhas mais velhas, a inibição do desenvolvimento radicular, o menor desenvolvimento de frutos e sementes, bem como senescência precoce e maturidade atrasada. Em condições de deficiência severa de P, as bordas e os caules das folhas podem apresentar coloração arroxeada (STRAATEN, 2007).

A carência de P diminui diretamente os processos fotossintéticos nas plantas e, portanto, afeta o desenvolvimento da área foliar e, subsequentemente, prejudica a capacidade fotossintética (CHAUDHARY *et al.*, 2008). A deficiência grave de P limita a nodulação e previne o crescimento de nódulos (ALMEIDA *et al.*, 2000). Também é relatado que a inadequação de P diminui a expansão foliar da planta (CHAUDHARY *et al.*, 2008).

2.12 Rochas minerais fosfáticas como fontes de fósforo

O P é abundantemente distribuído na natureza perfazendo teores de 1.050 mg dm^{-3} na crosta terrestre e teores médios de 8.690 mg dm^{-3} em carbonatitos, 650 mg dm^{-3} em granitos e 390 mg dm^{-3} em diabásios (LAPIDO-LOUREIRO; MELAMED, 2006). O elemento é utilizado principalmente na agricultura em forma de fertilizantes. A rocha fosfática é a única fonte de fósforo viável no mundo. Essa rocha é encontrada nos depósitos de origens sedimentares (em torno de 85% da oferta mundial), ígneas

(próximo de 15%) e biogenéticas. Os depósitos sedimentares e os depósitos de origem ígnea são os mais importantes do ponto de vista econômico (SOUZA; FONSECA, 2009).

No Brasil, cerca de 80% das jazidas fosfáticas naturais são de origem ígnea com presença acentuada de rocha carbonatítica e minerais micáceos. Essas rochas recebem a denominação de fosfato natural, rocha fosfatada ou mesmo concentrado fosfático, caso sejam passíveis de serem aproveitadas diretamente como material fertilizante ou como insumo básico da indústria de fertilizantes fosfatados ou de seus compostos, tal qual se encontram na natureza ou após os minérios sofrerem concentração por meios físicos nas usinas de beneficiamento (SOUZA; FONSECA, 2009).

Nos solos ácidos do mundo, os problemas de fertilidade limitam a produção agrícola. Esses solos geralmente contêm baixos teores de P disponíveis para as plantas e muitas vezes têm uma elevada capacidade de adsorção do elemento, resultando em baixa eficiência no uso de fertilizantes fosfatados, tais como superfosfato triplo (SPT) e fosfato diamônico (DAP). Nestes casos, a aplicação de rocha fosfática não processada ao solo pode ser uma alternativa atrativa.

A solubilidade da rocha é o melhor indicador do seu desempenho agronômico. A solubilidade da rocha fosfática reflete as características químicas e mineralógicas de minerais específicos. O principal mineral presente na maioria das rochas fosfáticas é apatita, variando amplamente nas propriedades físicas, químicas e cristalográficas (SILWAL, 2013).

O pH do solo tem grande influência na eficiência agronômica da rocha fosfática. Em um estudo conduzido em 15 solos com diferentes características, Chien (2003) encontrou que a eficiência agronômica relativa (EAR) da rocha fosfática de Gasa (Tunísia), em comparação com o superfosfato triplo (EAR = 100%), aumentou à medida que o pH do solo diminuiu. No entanto, a redução do pH contribuiu com apenas 56% da variabilidade da EAR (CHIEN *et al.*, 2009).

A adsorção e precipitação do P solúvel reduz a concentração de P na solução do solo e promove a dissolução da rocha fosfática. No entanto, à medida que a capacidade de adsorção de P aumenta, a concentração de P liberada no início do processo de solubilização da rocha pode ser reduzida mais rapidamente do que no caso de fontes de P solúveis (CHIEN *et al.*, 2009). Portanto, o efeito negativo da adsorção de P na EAR da rocha fosfática pode ser mais significativo em culturas de ciclo curto. Para culturas de ciclo mais longo ou culturas de ciclo curto usando P residual, a EAR da rocha

fosfática tende a aumentar em comparação com as fontes solúveis de P, que sua suscetibilidade a fixação aumenta ao longo do tempo (CHIEN *et al.*, 2009).

A EAR de várias rochas fosfáticas de diferentes reatividades aumentou desde o primeiro até o terceiro cultivo de feijão em um solo de alta capacidade de fixação de P (CHIEN, 2001). Esse comportamento deve-se ao fato de que o efeito residual do superfosfato triplo (SPT) é rapidamente reduzido em solos com alta capacidade de fixação, diferentemente da rocha fosfática, a qual apresenta dissolução lenta no solo (CHIEN *et al.*, 2009).

A dissolução da rocha fosfática também libera cálcio (Ca). Nos solos que inicialmente possuem alto teor de Ca, geralmente essa dissolução é mais lenta, como consequência da lei de ação de massas. O teor de Ca é baixo em muitos solos tropicais, portanto, apresentam condições mais favoráveis para a dissolução da rocha fosfática. Por outro lado, a matéria orgânica tem efeito positivo no aumento da eficiência da rocha fosfática (ERF) (CHIEN, 2001). Considera-se que a formação de complexos químicos entre a matéria orgânica e o Ca favorece a dissolução da rocha fosfática (CHIEN *et al.*, 2009).

A ERF como fonte de P varia de acordo com o cultivo. Geralmente, a ERF é maior em cultura de ciclo longo ou perene, do que em culturas de ciclo curto ou anuais. Assim, rochas fosfáticas têm sido amplamente utilizadas em muitas culturas perenes, como a seringueira, as palmas e cultivos para a obtenção de chás na Ásia, bem como em gramíneas perenes (CHIEN *et al.*, 2009).

A acidificação da rizósfera é responsável por algumas das diferenças entre culturas em relação ao uso da rocha fosfática. Em estudo realizado usando seis diferentes espécies, Van Ray e Van Diest (1979) encontraram que a rocha de Gasa (Tunísia) foi equivalente ao superfosfato triplo (SPT) em trigo, cultura que apresentava o menor pH na rizosfera em comparação com as outras espécies.

A canola é uma cultura considerada eficiente na utilização do P surgido via rocha fosfática. Considera-se que a exsudação de ácidos orgânicos pela raiz contribui para a dissolução da rocha fosfática (Chien *et al.*, 2009). Habib *et al.* (1999) relataram que a canola foi capaz de usar a rocha de Ain Layloun (Síria), uma rocha de P com reatividade média, mesmo em solos calcários.

Em determinadas circunstâncias, a eficiência agronômica e econômica da rocha fosfática pode ser igual ou melhor que os fertilizantes fosfatados solúveis em água. Ao contrário dos fertilizantes fosfatados solúveis em água, que podem ser amplamente

utilizados, existem fatores específicos, incluindo a reatividade da rocha fosfática, as propriedades do solo, as práticas de manejo e o tipo de cultivo, que devem ser levados em conta para maximizar o uso da rocha fosfática (CHIEN *et al.*, 2009).

2.13 Resposta da cultura de feijão à aplicação do pó de rocha

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), devido ao seu ciclo biológico relativamente curto, é uma planta com grande exigência nutricional, que apresenta maior acúmulo de nutrientes principalmente na etapa da floração (NETTO, 1999). A avaliação do seu estado nutricional pode ser realizada mediante análise química de folhas e/ou observação de sintomas visuais de deficiências nutricionais (NETTO, 1999). Pela análise química das folhas (diagnose foliar), se avalia o estado nutricional da planta e, indiretamente, a fertilidade do solo, pela determinação dos teores de nutrientes contidos nas folhas cujos distúrbios nutricionais podem se identificados quantitativamente (NETTO, 1999).

Geralmente, a demanda de nutriente das plantas é suprida a partir do uso de fertilizantes minerais solúveis, obtidos por processos industriais. Essas fontes são aplicadas geralmente na forma de sais, que liberam rapidamente os nutrientes e atendem as exigências das culturas (SILVA, 2007). Na perspectiva de reduzir a dependência dos insumos externos, o uso de pó de rocha, pela técnica da rochagem, é uma alternativa ou um complemento ao uso das fontes solúveis de fertilizantes. Segundo Pádua (2012) e Piovesan *et al.* (2016), os pós de rochas podem fornecer vários nutrientes simultaneamente – dada a composição variável dos minerais – além de disponibilizar nutrientes de forma gradual. Além disso, a utilização das rochas pode aumentar a CTC do solo como resultado à formação de novos minerais de argila durante o seu processo de alteração. Harley e Gilkes (2000) destacaram que o pó de rocha pode contribuir com efeito residual por um longo período, além de reduzir os custos da produção agrícola, pois apresenta baixo custo de beneficiamento, uma vez que envolve apenas moagem das rochas, as quais são amplamente distribuídas.

Silva *et al.* (2012) não observaram diferenças para as variáveis produtividade e altura de plantas do feijoeiro entre os tratamentos com adubação convencional, o tratamento controle e aos tratamentos com aplicação do pó de basalto.

Ferreira *et al.* (2009) avaliaram o potencial do pó de basalto como fonte de nutrientes para o feijoeiro em um Cambissolo Húmico e verificaram que após o primeiro ano, todos os tratamentos com pó de basalto e esterco bovino proporcionaram

produtividades similares as dos tratamentos com calcário e com adubo convencional. Beneduzzi (2011), em testes em casa de vegetação, verificou incremento na altura de plantas de feijão com a aplicação de pó de rocha. Já Koserá *et al.* (2009) observou menor capacidade do pó de rocha em proporcionar porte mais elevado em comparação com adubação sintética.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Instalação dos experimentos

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas geográficas 18°52'40" S 48°15'20" W. Os ensaios foram conduzidos em vasos, simultaneamente no período de 03/11/2017 a 09/04/2018, com a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), utilizando-se um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) de textura argilosa e outro, um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) de textura arenosa, cujas características físicas e químicas são apresentadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1: Caracterização física dos solos

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

Análise textural pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1997).

TABELA 2: Caracterização química dos solos: Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)

Solos	pH CaCl ₂	P**	Si	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m
		---mg kg ⁻¹ --		-----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 (Mehlich 1); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases e m = Saturação por Al. (EMBRAPA, 2009)

Para obtenção dos materiais, os produtos granulados foram moídos e peneirados até passarem 100% em peneira de 50 mesh (0,297 mm) para fins de uniformidade da granulometria. A caracterização granulométrica do produto está apresentada na tabela 3.

TABELA 3: Análise granulométrica do kama fugito

Granulometria do kama fugito	% passante	Peneira (mm)
Pó	100	< 0,84
	80	< 0,50
	60	< 0,30
	40	< 0,15
	20	< 0,074
	100	> 0,045
Filler	100	< 0,074

A caracterização das fontes utilizadas quanto aos teores de macronutrientes, micronutrientes, Si solúvel e total (TABELA 4) foram realizadas seguindo metodologias propostas por EMBRAPA (2009) e Korndörfer *et al.* (2004).

TABELA 4: Caracterização química das fontes KCl (cloreto de potássio), SPT (superfosfato triplo) e Kama fugito (na forma de filler e de pó) de acordo com metodologia do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA)

Metodologia do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA)								
Fonte	K ₂ O		P ₂ O ₅		CaO	MgO	Si	
	Total*	Solúvel**	Total*	Solúvel*			Total***	Solúvel****
----- % -----								
KCl	60	60	--	--	--	--	--	--
SPT	--	--	45	--	--	--	--	--
Kamafugito (Filler)	4,0	1,2	3,1	1,94	1,4	0,7	16,6	0,41
Kamafugito (Pó)	4,0	1,2	3,3	1,97	1,7	0,5	16,0	0,41

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

* Potássio solúvel em ácido cítrico 2%, relação 1:200

* Fósforo solúvel em ácido cítrico 1:100

** Silício total extraído em ácido fluorídrico concentrado

*** Silício solúvel extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio - Na₂CO₃+NO₃NH₄)

3.2 Condução dos experimentos

3.2.1 Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Utilizou-se um esquema fatorial do tipo 4x2+4, sendo quatro doses crescentes de kamafugito (1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³), duas granulometrias de kamafugito (filler e pó), bem como o cloreto de potássio (KCl = 80 mgdm⁻³ de K₂O), o superfosfato triplo (SPT = 252mg dm⁻³ de P₂O₅) e o combinado KCl+SPT, como tratamentos adicionais positivos para fins de comparação. Também utilizou-se uma testemunha como tratamento adicional controle, conforme a tabela 5. Com as doses crescentes do kamafugito (1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³), foram aportadas, respectivamente, quantidade crescente de P₂O₅ (63, 126, 252, 504 mg dm⁻³) e de K₂O (20, 40, 80, 160 mg dm⁻³).

TABELA 5: Tratamentos, doses dos produtos e quantidades aportadas de K₂O e P₂O₅ aplicadas nos solos

Fonte	Doses		
	Produto	K ₂ O	P ₂ O ₅
	-----mg kg ⁻¹ -----		
Testemunha	0	0	0
KCl (Padrão de K)	133	80	0
SPT (Padrão de P)	282	0	252
KCl + SPT	133 + 282	80	252
Kamafugito (Filler)	1667	20	63
Kamafugito (Filler)	3334	40	126
Kamafugito (Filler)	6668	80	252
Kamafugito (Filler)	13336	160	504
Kamafugito (Pó)	1667	20	63
Kamafugito (Pó)	3334	40	126
Kamafugito (Pó)	6668	80	252
Kamafugito (Pó)	13336	160	504

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos contendo 5 dm³ de solo. Os tratamentos foram misturados aos solos e incubados durante 60 dias antes da semeadura. No solo arenoso, foram aplicados doses de CaCO₃ (1100 mg dm⁻³) e MgCO₃ (330 mg dm⁻³) em todos os tratamentos a fim de corrigir a acidez do solo e elevar a saturação por bases (V) até 70 %, aproximadamente. Foram definidas essas doses pelo método de saturação por base. No solo argiloso, acrescentou-se em todos os tratamentos uma quantidade extra de CaCO₃ (735 mg dm⁻³) devido ao maior poder tampão deste solo.

3.2.2 Adubação, plantio e manejo da cultura

Foram realizados dois cultivos consecutivos com a cultura do feijão, objetivando-se avaliar o efeito residual das fontes. Na semeadura de cada cultivo, os solos receberam quantidades suficientes de N (200 mg dm^{-3} de N), provenientes da fonte sulfato de amônio, de forma que este nutriente não limitasse o desenvolvimento da cultura. Além disso, aplicaram-se 50 mg dm^{-3} da fonte micronutriente FTE-BR12 em todos os tratamentos, contendo 9 % de Zn; 7,1% de Mn; 5,7% de S; 1,8% de B; 0,8% de Cu e; 0,1% de Mo.

A semeadura foi realizada com o cultivar Pérola do Grupo Carioca, na profundidade de 2 cm, distribuindo-se 5 sementes por vaso. Após a emergência das plântulas realizou-se o desbaste, mantendo um estande de três plantas por vaso. Aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS) foi realizada adubação de cobertura na dose 200 mg dm^{-3} de N com sulfato de amônio em cada aplicação.

Durante a condução dos experimentos, as parcelas foram irrigadas diariamente e foram realizados todos os manejos necessários para evitar interferências nos resultados.

3.3 Avaliações

3.3.1 Parte aérea

Ao término de cada cultivo, no estágio R₆, aos 42 DAS, foi realizado o corte da parte aérea das plantas com o auxílio de uma tesoura de poda. Posteriormente, as amostras vegetais foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à estufa a 65 °C até peso constante. Após a secagem foram obtidos os valores de MS da parte aérea, as quais foram posteriormente moídas e submetidas à digestão nítroperclórica em bloco digestor para quantificação dos teores, de K por fotometria de chama, de P por colorimetria e de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), na parte aérea, seguindo as metodologias descritas no manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (2009). A quantidade de K, P, Ca e Mg acumulada na parte aérea das plantas foi calculada utilizando-se os resultados de produção de matéria seca da parte aérea e os teores do nutriente na parte aérea das plantas.

3.3.2 Análise de solo

Ao final de cada cultivo, com o auxílio de um mini-trado, foi realizada

amostragem do solo, coletando-se três pontos por vaso. Em seguida, as amostras foram levadas a estufa a 45 °C por 24 horas, seguida da determinação do teor de K trocável em solução Mehlich-1, pelo fotômetro de chama. Também foram determinados teores de Ca e Mg trocável em solução KCl, por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), e pH em CaCl₂, por meio de potenciômetro com eletrodo combinado, conforme as metodologias descritas por EMBRAPA (2009). Ademais, foi quantificado o teor de P disponível com resina de troca iônica pelo espectrofotômetro, conforme relatado por Raij e Quaggio (1983).

Após o primeiro cultivo do feijão, o solo foi peneirado para a retirada das raízes e colocado novamente nos vasos para a semeadura do segundo cultivo do feijão, a fim de avaliar o efeito residual do produto no solo. Após o segundo cultivo, as amostras de solo foram coletadas novamente conforme realizado anteriormente. Todos os parâmetros analisados durante o primeiro estágio do experimento foram também analisados no segundo estágio do experimento.

3.3.3 Índice de eficiência agrônômica (IEA)

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

$$IEA(\%) = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_1} \times 100$$

Y₁: Massa seca da parte aérea do tratamento controle;

Y₂: Massa seca da parte aérea do tratamento com o kamaflugito, na dose 6668 mg kg⁻¹;

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

3.3.4 Percentual de K e P recuperado

Utilizando os valores dos nutrientes acumulados na parte aérea dos dois cultivos, calculou-se a recuperação dos nutrientes provenientes das fontes, segundo a seguinte equação:

$$M \text{ recuperado}(\%) = \frac{M \text{ absorvido pelas plantas}}{M \text{ aplicado no solo}} \times 100$$

Sendo que o M absorvido pela planta proveniente do fertilizante foi calculado pela diferença entre o M acumulado (mg vaso^{-1}) na parte aérea das plantas do tratamento com o kamafigito ou com a fonte padrão e o M acumulado (mg vaso^{-1}) pela testemunha.

3.4 Análises estatísticas

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 e análise de regressão polinomial. Ademais, os tratamentos foram comparados ao tratamento testemunha (dose 0) e aos adicionais positivos (KCl, SPT, KCl+SPT) pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância, utilizando-se o programa ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Matéria seca (MS) e nutrientes acumulados na parte aérea de plantas

4.1.1 MS da parte aérea

A aplicação do kama fugito, independentemente da granulometria, não resultou em diferenças quanto à produção de MS da parte aérea do feijão, tanto no primeiro como no segundo cultivo e em ambos os solos (TABELA 6).

No primeiro cultivo, os tratamentos SPT e o combinado KCl+SPT apresentaram valores superiores de MS da parte aérea quando comparados aos valores apresentados pelas doses do kama fugito em ambos os solos. Por outro lado, observou-se que os valores de MS da parte aérea de plantas cultivadas no tratamento padrão com KCl não diferiram dos tratamentos com kama fugito, com exceção do solo arenoso, em que a dose 13336 mg dm^{-3} do kama fugito, independentemente da granulometria, e a dose 6668 mg dm^{-3} do kama fugito na forma de pó apresentaram resultados superiores ao KCl. Porém, em ambos os solos, a aplicação do kama fugito na maior dose, tanto na forma de filler como na forma pó, resultou em incremento de MS da parte aérea em relação à testemunha. No primeiro cultivo, em que se considera a soma dos dois cultivos, observou maior produção da matéria seca no solo arenoso em comparação com o solo argiloso. Como possível explicação, devido ao solo argiloso ter maior capacidade de adsorção de P em relação ao solo arenoso, isto é, tem maior possibilidade de perda de P no solo argiloso, traduz por uma melhor resposta das plantas ao P liberado pelo kama fugito no solo arenoso devido ao menor potencial de fixação do elemento neste solo. Também, pode ser que o P foi um elemento limitante no solo argiloso, por isso as plantas demonstraram maior resposta ao P liberado pelo kama fugito até no segundo cultivo, tomando em conta as características de liberação lenta e gradativa do kama fugito na disponibilização de seus nutrientes.

No segundo cultivo, os tratamentos com kama fugito demonstraram resultados inferiores de MS da parte aérea comparado ao tratamento combinado KCl+SPT, com exceção do tratamento em que a maior dose do kama fugito é na forma de pó, o qual não diferiu do tratamento KCl+SPT em ambos os solos. No solo argiloso, a aplicação de kama fugito nas doses de 6668 mg dm^{-3} e 13336 mg dm^{-3} , independentemente da granulometria, resultou em valores de MS da parte aérea similares ao SPT, enquanto que, na dose de 13336 mg dm^{-3} , a fonte superou os tratamentos testemunha e KCl. Por

outro lado, no solo de textura arenosa, a maior dose de kama fugito na forma de pó superou os tratamentos testemunha, KCl e SPT, enquanto que, na forma de filler e nas doses 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³, a fonte superou a testemunha e também o KCl. O incremento observado na produção de MS da parte aérea com a aplicação do kama fugito em comparação com os tratamentos testemunha e KCl pode comprovar a residualidade do produto para liberar K às plantas com o passar do tempo.

Em ambos os solos e para ambos os cultivos, não houve interação significativa entre as doses e o produto quanto aos valores de MS da parte aérea, tampouco diferenças entre as granulometrias (FIGURA 2). Contudo, observou-se que o aumento da dose do kama fugito proporcionou acréscimo linear na produção de MS da parte aérea de plantas de feijão. Para o solo de textura argilosa (LVd), no primeiro cultivo, obteve-se uma diferença de 1,34 g entre os valores máximos e mínimos da MS da parte aérea, representando um acréscimo de 35% (FIGURA 2A). Neste mesmo solo, porém no segundo cultivo, a diferença entre os valores máximos e mínimos aumentou, passando para 5,38 g, ou seja, com acréscimos de 73% (FIGURA 2B). Comportamento similar foi observado no solo de textura arenosa (RQo), tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, obtendo respectivas diferenças de 4,95 g e 5,22 g entre os valores máximos e mínimos de MS da parte aérea, representando 64% e 79%.

É necessário destacar o maior aumento observado na produção de matéria seca no segundo cultivo (FIGURA 2B) em relação ao primeiro (FIGURA 2A). Tal efeito pode ter decorrido da natureza da fonte kama fugito. Por ser um produto de liberação lenta e gradativa, o kama fugito libera mais facilmente seus nutrientes no solo com o passar do tempo, promovendo maior produção de matéria seca das plantas. Costa *et al.* (2016) avaliaram em vaso com solo arenoso o crescimento vegetativo do feijão caupi adubado com doses crescentes (1; 2; 4; 8; 16 ton ha⁻¹) de pó de rocha (Natural Plus da Terra Produtiva Mineradora de Ipirá –BA (Piroxenito)) e fertilizante orgânico composto, em comparação à adubação mineral convencional. Esses autores constataram que a utilização de pó de rocha *in-natura* não contribuiu para ganho de matéria seca da parte aérea do caupi. Em contraste com esses resultados, o presente estudo mostrou que resultados superiores em relação aos tratamentos KCl e testemunha foram obtidos com a maior dose de kama fugito.

Leonardos *et al.* (1987) aplicaram 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 em feijão. Andrade *et al.* (2009)

compararam o desempenho de biofertilizante de rochas com fertilizante mineral (NPK) e concluíram que o biofertilizante promoveu maior biomassa da parte aérea, especialmente quando o biofertilizante foi inoculado com *Bradyrhizobium*.

TABELA 6: Matéria seca (MS, g) da parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), colhidas aos 42 dias após a semeadura (DAS), em função da aplicação de doses crescentes de kamafigito e de adubos concentrados, cloreto de potássio (KCl) e superfosfato triplo (SPT)

Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	-----g-----					
1667	2,59 ^{βλ}	2,64 ^{βλ}	2,61	3,188 ^{βλ}	3,51 ^{βλ}	3,35
3334	2,72 ^{βλ}	3,21 ^{βλ}	2,97	4,250 ^{βλ}	3,70 ^{βλ}	3,98
6668	3,08 ^{βλ}	2,64 ^{βλ}	2,86	4,863 ^{βλ}	5,59 ^{*+βλ}	5,23
13336	3,88 ^{*βλ}	3,80 ^{*βλ}	3,84	7,363 ^{*+βλ}	8,04 ^{*+βλ}	7,70
Média	3,06 a	3,07 a		4,92 a	5,21 a	
Testemunha		2,50			2,75	
KCl (133)		2,70			2,78	
SPT (563)		10,65			11,81	
KCl(133) + SPT(563)		26,30			26,93	
LVd: DMSTukey= 0,35; DMSDunnett _(testemunha) =0,99; DMSDunnett _{KCl} = 0,99; DMSDunnett _(SPT) =0,99; DMSDunnett _(KCl + SPT) =2,10; CV (%)= 16,37.						
RQo: DMSTukey= 0,90; DMSDunnett _(testemunha) =2,52; DMSDUnnett _{KCl} = 2,52; DMSDunnett _(SPT) = 2,93; DMSDunnett _(KCl + SPT) =3,14; CV (%)= 26,92.						
2º cultivo						
1667	2,39 ^{βλ}	2,45 ^{βλ}	2,42	2,78 ^λ	2,24 ^λ	2,51
3334	3,50 ^λ	2,63 ^{βλ}	3,06	4,54 ^{*+λ}	2,26 ^λ	3,40
6668	4,36 ^λ	4,06 ^λ	4,21	4,29 ^{*+λ}	3,13 ^λ	3,71
13336	6,46 ^{*+λ}	8,20 ^{*+}	7,33	6,23 ^{*+λ}	6,93 ^{*+β}	6,58
Média	4,18 a	4,34 a		4,46 a	3,64 a	
Testemunha		1,95			1,36	
KCl (133)		2,03			1,70	
SPT (563)		6,44			4,50	
KCl(133) + SPT(563)		10,96			9,13	
LVd: DMSTukey= 1,15; DMSDunnett _(testemunha) =3,22; DMSDunnett _{KCl} = 3,22; DMSDunnett _(SPT) =3,21; DMSDunnett _(KCl + SPT) =3,71; CV (%)= 41,58.						
RQo: DMSTukey= 0,83; DMSDunnett _(testemunha) =2,32; DMSDunnett _(KCl) =2,32; DMSDunnett _(SPT) =2,31; DMSDunnett _(KCl + SPT) =2,57; CV (%)= 32,24.						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do KCl (+), do SPT (β) e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

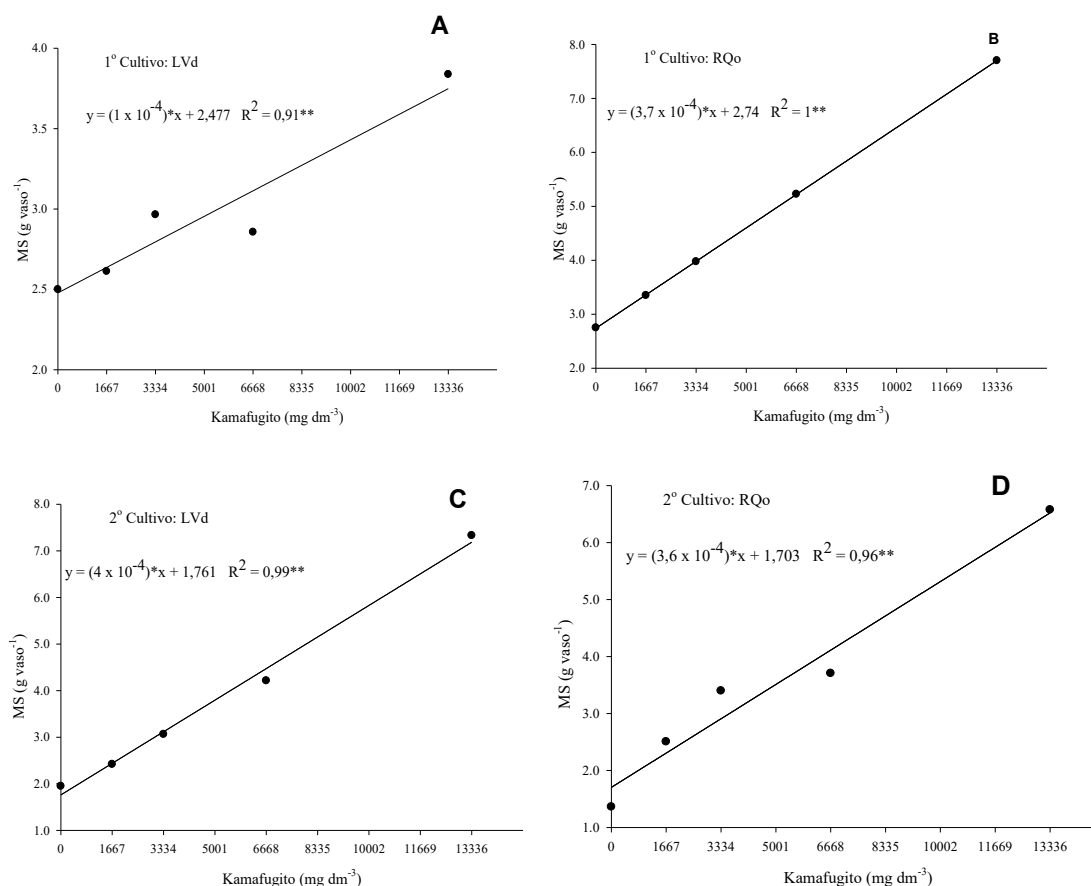


FIGURA 2: Matéria seca (g vaso^{-1}) da parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de kamafulgito em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd: A e C) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo: B e D).

****** significativo a 1% de probabilidade.

4.1.2 Índice de eficiência agrônômica (IEA) do produto

A. Índice de eficiência agrônômica (%) – KCl e SPT

O kamafulgito, em ambas as granulometrias, apresentou maior índice de eficiência agrônômica que o KCl (FIGURA 3). Observou-se esse comportamento em ambos os solos e cultivos, exceto no solo argiloso para o primeiro cultivo, onde o kamafulgito na granulometria de pó apresentou menor IEA que o KCl, porém atingindo nível de eficiência agrônômica adequada (69%), já que é uma fonte pouco solúvel. Uma vez que os fertilizantes concentrados na alta dose, como o KCl, podem ser prejudiciais ao rendimento da cultura do feijão, causando injúrias às plântulas até reduzir a 50% a população final (SGUARIO-Jr *et al.*, 2006), o kamafulgito é uma fonte alternativa com menor potencial salino e com efeitos benéficos.

É importante ressaltar que, no solo argiloso, o maior IEA foi encontrado no segundo cultivo, diferentemente do observado no solo arenoso, cujo maior IEA foi obtido após o primeiro cultivo. 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. Por ser o kamaflugito 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 kamaflugito resulta em maior permanência do nutriente no solo, demonstrando seu maior efeito no segundo cultivo.

Pelo contrário, por apresentar baixa CTC e consequentemente maior potencial de lixiviação de K, menor disponibilidade de K para as plantas no segundo cultivo em solo arenoso foi observada quando comparada ao primeiro cultivo. Machado *et al.* (2005) e Resende *et al.* (2005) afirmaram que a aplicação de brecha vulcânica alcalina, biotita-flogopita xisto e ultramáfica alcalina como fontes de fornecimento de K para as culturas de soja e milho em sucessão, apresentaram aproximadamente 50% de eficiência agrônômica em relação à fonte KCl. Castro *et al.* (2006), realizando estudos em casa de vegetação com girassol e soja, verificaram que as rochas ultramáfica alcalina e biotita-flogopita xisto apresentaram eficiência agrônômica comparável à do KCl. Os autores afirmam que a rocha ultramáfica alcalina e a biotita xisto apresentaram IEA variando de 89 a 68% no Latossolo Vermelho Distroférico e de 83 a 56% no Neossolo Quartzarênico, mostrando a efetividade dessas rochas como fonte potássica.

O SPT apresentou índice de eficiência agrônômica superior ao kamaflugito para as duas granulometrias e em ambos os solos e cultivos (FIGURA 3). Esse resultado concorda com o obtido por Oliveira Junior *et al.* (2008), os quais observaram que a aplicação de SPT apresentou EAR superior à fonte fosfato natural reativa. No primeiro cultivo o kamaflugito demonstrou baixo IEA em relação ao SPT. Esse resultado era previsível, já que a fonte SPT é mais solúvel e reativa, fornecendo os nutrientes para as plantas de maneira mais acelerada em comparação ao kamaflugito. No segundo cultivo, o IEA do kamaflugito aumentou em relação ao primeiro cultivo, apresentando valores mais aproximados ao tratamento com o SPT. Ademais, no segundo cultivo, o kamaflugito na granulometria filler, aplicado no solo arenoso, alcançou até 93% de eficiência agrônômica, muito semelhante à fonte SPT (100%), demonstrando, novamente, o efeito residual do produto, o qual libera de maneira progressiva o P para o solo, favorecendo a absorção pelas plantas e, consequentemente, a produção de matéria seca. O P presente no SPT é fornecido mais rapidamente, favorecendo a maior

eficiência no primeiro cultivo. Porém, o kama fugito foi mais eficiente em incrementar a matéria seca das plantas ao longo do tempo.

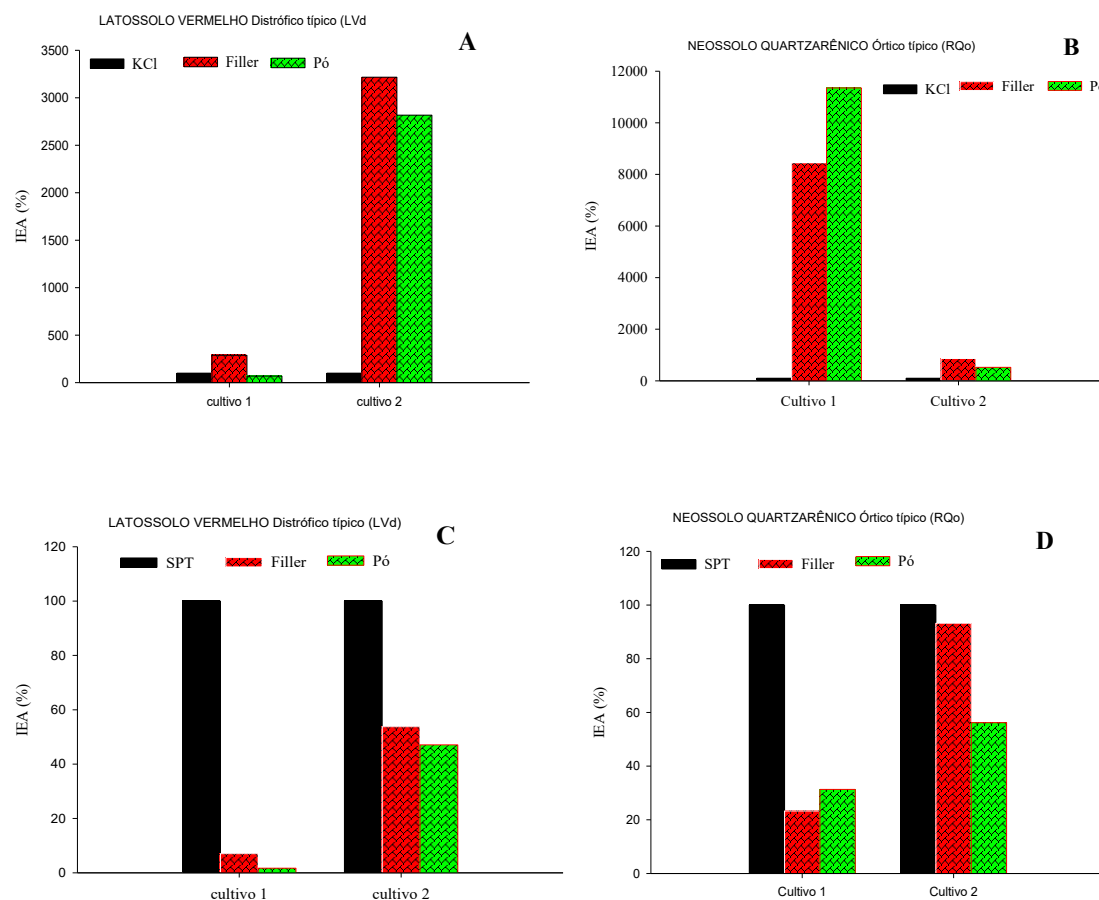


FIGURA 3: Índice de eficiência agrônômica do kama fugito (Filler e Pó) em relação ao KCl e ao SPT em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd: A e C) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo: B e D), aos 102 e 144 dias após a aplicação do produto.

B. Índice de eficiência agrônômica (%) – KCl+SPT

Em ambos os solos e cultivos o remineralizador apresentou menor índice de eficiência agrônômica que o tratamento KCl+SPT (FIGURA 4). Os valores de IEA foram baixos após o primeiro cultivo, mas, após o segundo cultivo, em ambos os solos, foi obtido aumento desses valores em relação ao tratamento KCl+SPT. O maior índice de eficiência agrônômica do tratamento KCl+SPT em ambos os solos era esperado devido às grandes diferenças observadas no desenvolvimento das plantas deste tratamento em relação às plantas dos tratamentos com o kama fugito.

Cabe ressaltar a alta solubilidade das fontes KCl e SPT em relação ao

kamafugito. Essa característica tem como consequência a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, o qual resulta em maior eficiência agronômica. Desse modo, por se tratar de um produto de liberação lenta e gradativa em relação às fontes convencionais, conforme já mencionado, a melhoria observada da eficiência agronômica do kamafugito após o segundo cultivo demonstra uma vez mais a capacidade residual do produto e seu potencial para fornecer nutrientes como K e P com o passar do tempo.

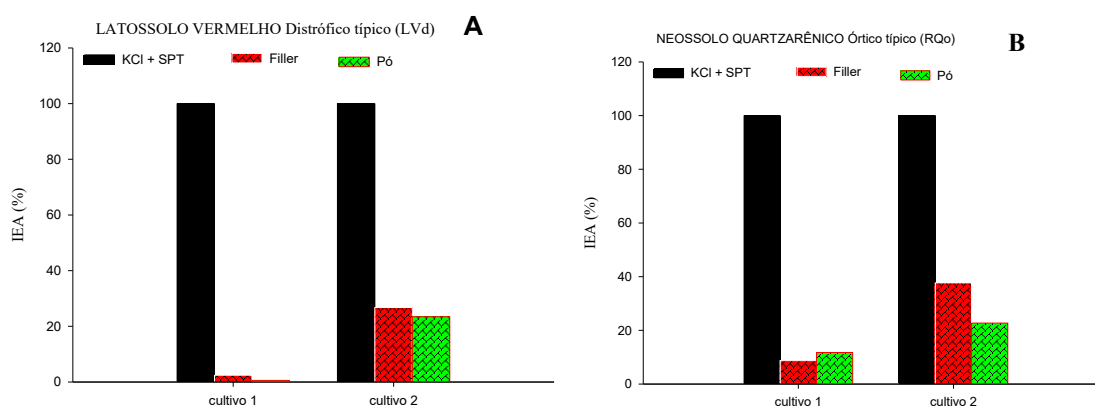


FIGURA 4: Índice de eficiência agronômica do kamafugito (Filler e Pó) em relação ao KCl+SPT em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd: A) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo: B), aos 102 e 144 dias após a aplicação do produto.

4.1.3 Teores de K na parte aérea

Quanto ao teor de potássio na parte aérea das plantas, a utilização do kamafugito na granulometria filler em solo de textura argilosa foi significativamente superior à granulometria pó, tanto no primeiro como no segundo cultivo (TABELA 7). Como mencionado por Hanisch *et al.* (2013), a eficiência do pó de rocha depende de uma complexa relação de fatores, dentre eles a granulometria. Neste caso, o kamafugito na granulometria filler tem maior superfície específica que na forma pó, o que favorece sua solubilização no solo, refletindo maior teor de K na parte aérea das plantas. Isso se justifica pela textura do solo, que possui partículas com maior superfície específica, favorecendo o maior contato do produto com as partículas do solo (DUARTE, 2012), possibilitando dessa forma maior reatividade do kamafugito. No solo arenoso não foram detectadas diferenças no teor de K foliar entre as granulometrias do produto em ambos os cultivos. Contudo, no primeiro cultivo, houve interação significativa entre a granulometria do produto e as doses para a variável mencionada anteriormente.

No solo argiloso, as doses 80 e 160 mg dm⁻³ de K₂O proveniente do kama fugito resultaram em teor de K na parte aérea superior à testemunha, no primeiro cultivo, sendo que a dose de 160 mg dm⁻³ de K₂O superou também o tratamento com KCl+SPT. O tratamento com a fonte solúvel (KCl) apresentou maior teor de K na parte aérea em comparação com o remineralizador, tanto no primeiro como no segundo cultivo. No segundo cultivo, todas as doses do remineralizador superaram os tratamentos testemunha e o KCl+SPT.

No solo arenoso, os tratamentos com kama fugito apresentaram resultados inferiores à fonte solúvel (KCl) e não diferiram dos tratamentos testemunha e KCl+SPT no primeiro cultivo. Já no segundo cultivo, as menores doses de kama fugito na forma de pó e as doses 40 e 160 mg dm⁻³ de K₂O na forma de filler, não diferiram da testemunha.

Durante a condução do experimento observou-se menor desenvolvimento das plantas de feijão no tratamento testemunha, refletindo numa baixa produção de matéria seca de parte aérea. Dessa forma, pode-se inferir que o K absorvido pelas plantas neste tratamento ficou muito concentrado no tecido, com menor diluição, demonstrando concentração de K similar aos tratamentos com kama fugito, onde houve maior diluição do K nos tecidos devido ao seu maior desenvolvimento. Obteve-se maior concentração de K nas plantas de feijão adubadas com KCl em relação ao kama fugito. Por outro lado, as doses 20 (pó), 40 e 160 (filler) mg dm⁻³ de K₂O proveniente do kama fugito demonstraram resultados superiores ao tratamento KCl+SPT. Castro *et al.* (2006), 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. Do mesmo modo, Silva *et al.* (2012), 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 que receberam o KCl.

O teor de nutrientes nas folhas é geralmente usado para o diagnóstico do estado nutricional das plantas e para estudos de absorção, transporte e distribuição dos nutrientes nas plantas (MALAVOLTA *et al.*, 1997; SAMPAIO; BRASIL, 2009). Neste estudo, acréscimos lineares nos teores de K foliar em função das doses do K₂O em solo argiloso após o primeiro cultivo foram observados, sendo que a maior concentração de K foi de 20,2 g kg⁻¹, obtida com a aplicação da maior dose de K₂O (FIGURA 5). Neste mesmo solo, porém no segundo cultivo, não houve interação significativa entre fonte e doses do kama fugito, assim como não houve efeito significativo das doses, com média

do teor de K foliar de 11,3 g kg⁻¹. Para ambos os cultivos, no solo arenoso, não houve interações entre fonte e doses do kama fugito, bem como diferenças entre as doses do remineralizador para o teor de K foliar. A média do teor de K foliar em plantas cultivadas nesse solo foi de 14,4 g kg⁻¹ e 10,6 g kg⁻¹ após o primeiro e segundo cultivo, respectivamente. É importante mencionar que todos os tratamentos, incluindo o tratamento adubado com a fonte KCl, apresentaram teores de K foliar abaixo do nível crítico recomendado para a cultura de feijão (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1999).

TABELA 7: Teores de K (g kg⁻¹) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas aos 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de Kama fugito e do adubo mineral (KCl)

Dose de K ₂ O (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média a
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- g kg ⁻¹ -----					
20	17,13 +	12,88 +	15,00	13,75 a+	15,00 a+	14,38
40	17,00 +	12,88 +	14,94	13,68 a+	15,00 a+	14,34
80	17,38 *+	17,50 *+	17,44	13,75 a+	15,33a+	14,54
160	20,63 *+λ	19,75 *+λ	20,19	14,13 a+	15,00 a+	14,56
Média	18,03 a	15,75 b		13,83	15,08	
Testemunha		12,38			14,38	
KCl		26,63			24,5	
KCl + SPT		13,88			13,63	
LVd: DMSTukey=1,72; DMSDunnett _(testemunha) =4,81; DMSDunnett _(KCl) =4,81;DMSDunnett _(KCl + SPT) =3,97; CV (%)=13,58 RQo: DMSTukey=2,43; DMSDunnett _(testemunha) =3,41; DMSDunnett _(KCl) =3,41DMSDunnett _(KCl + SPT) =3,37; CV(%)= 10,86						
2º cultivo						
20	13,00 *+λ	12,38 *+λ	12,69	8,83 *+	11,13 +λ	9,98
40	13,13 *+λ	12,13 *+λ	12,63	9,88 +λ	10,13 +λ	10,00
80	13,50 *+λ	12,38 *+λ	12,94	9,50 *+	9,75 +	9,63
160	12,75 *+λ	8,63 +	10,69	9,88 +λ	9,38 *+	9,63
Média	13,09 a	11,38 b		9,52 a	10,09 a	
Testemunha		7,5			13,75	
KCl		17,13			18,63	
KCl + SPT		7,88			5,75	
LVd: DMSTukey=1,26; DMSDunnett _(testemunha) =3,54; DMSDunnett _(KCl) =3,54;DMSDunnett _(KCl + SPT) =3,30; CV (%)=14,18 RQo: DMSTukey= 1,45; DMSDunnett _(testemunha) =4,06; DMSDunnett _(KCl) =4,06 DMSDunnett _(KCl + SPT) =4,10; CV(%)= 17,99						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do KCl (+), e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

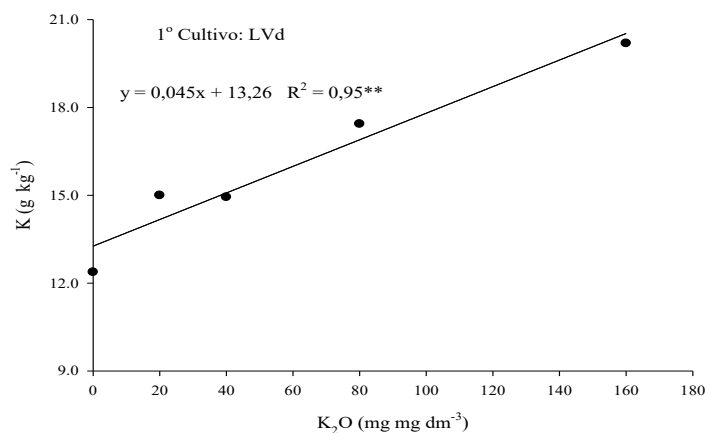


FIGURA 5: Teor de K (g kg^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de K_2O (mg dm^{-3}) proveniente de kama fugito em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd: A).

** significativo a 1% de probabilidade.

4.1.4 Teores de P na parte aérea

Para os teores de P na parte aérea das plantas, o kama fugito na granulometria filler não diferiu da granulometria pó em ambos os cultivos em solo argiloso (TABELA 8). No solo arenoso, pode-se observar interação significativa entre as doses e granulometrias, apresentando maiores teores de P na parte aérea nas doses 252 e 504 mg dm^{-3} de P_2O_5 proveniente do kama fugito na forma de pó após o primeiro cultivo. Para este mesmo solo, a aplicação das duas formas do produto promoveram teores de P semelhantes após o segundo cultivo.

A aplicação do kama fugito em solo argiloso, nas doses de 252 e 504 mg dm^{-3} de P_2O_5 , resultou em teores de P na parte aérea de plantas de feijão superiores à testemunha em ambos os cultivos, porém inferiores aos tratamentos SPT e KCl+SPT, com exceção do tratamento em que aplicou-se a dose de 504 mg dm^{-3} na forma pó após o primeiro cultivo, que apresentou similaridade com o tratamento KCl+SPT.

No primeiro cultivo em solo arenoso, o kama fugito apresentou resultados inferiores aos tratamentos SPT e KCl+SPT, exceto nas doses 252 e 504 mg dm^{-3} , em que o produto na forma de pó não diferiu do tratamento KCl+SPT. Neste mesmo solo, porém no segundo cultivo, as maiores doses do kama fugito não diferiram dos

tratamentos SPT e KCl+SPT. Em ambos os cultivos o remineralizador nas suas maiores doses superou a testemunha.

No solo argiloso, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, houve acréscimo linear do teor de P na parte aérea das plantas, ou seja, o aumento do teor de P na planta acompanhou o aumento das doses do kama fugito (FIGURA 6). Observou-se que a cada 100 mg dm^{-3} de P_2O_5 , aumentos de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ e $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ de P nas folhas foram obtidos após o primeiro e segundo cultivo, respectivamente. Após o primeiro cultivo com feijão no solo arenoso, a utilização do produto na forma de pó resultou em teores de P superiores a àqueles observados com o produto na forma filler. Hipoteticamente, quanto menor é o tamanho das partículas, maior é a solubilidade da rocha fosfática. Chien e Friesen (1992) afirmam que a eficiência agronômica de rochas fosfáticas altamente reativas, moídas ou não, não segue estritamente esse padrão de comportamento. Mesmo que a solubilidade de uma rocha fosfática reativa sem moagem (-35 mesh, 0,15 mm) seja menor do que a mesma rocha fosfática moída (-100 mesh, 0,15 mm), sua eficiência agronômica foi similar em condições de campo e estufa (CHIEN; FRIESEN, 1992).

Para ambas as granulometrias do produto, o modelo que melhor se ajustou às médias dos tratamentos foi o quadrático (FIGURA 6). Os teores máximos de P foliar foram obtidos com a aplicação das doses $500 \text{ mg dm}^{-3} \text{P}_2\text{O}_5$ proveniente do kama fugito na forma de filler e $429 \text{ mg dm}^{-3} \text{P}_2\text{O}_5$ empregado o kama fugito na forma pó, resultando em $1,9 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,35 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. No segundo cultivo não houve diferenças entre as granulometrias do produto, demonstrando ajuste linear para as médias, com acréscimo de $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ de P foliar para cada 100 mg dm^{-3} de P_2O_5 fornecido através do kama fugito.

Paçô e Oliveira (2010), utilizando fosfato de rocha Itafós e superfosfato simples como fontes de fósforo na cultura de soja, aplicadas isoladamente e em conjunto, observaram que as concentrações de todos os nutrientes na folha estiveram na faixa de suficiência, exceto para o cobre. Os mesmos autores concluíram que o uso de fosfato Itafós isolado apresentou melhor equilíbrio entre os nutrientes, considerando que o uso do fosfato Itafós poderia ser uma alternativa viável para o manejo da adubação fosfatada. O resultado do presente estudo difere das afirmações de Paçô e Oliveira (2010), pois os tratamentos, incluindo o superfosfato triplo, apresentaram teores de P foliar abaixo do nível crítico recomendado pela comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (1999) para a cultura do feijão. O baixo teor de P foliar identificado pode ter duas possíveis explicações. Primeiramente, pode ser causado pelo

efeito de diluição do P na matéria seca das plantas, pois para a análise foliar toda a estrutura da planta foi moída. Segundo, o 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.

TABELA 8: Teores de P (g kg^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão, após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas aos 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de P_2O_5 proveniente da fonte kama fugito e do adubo mineral (SPT)

Dose de P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- g kg ⁻¹ -----					
63	0,80 βλ	0,73 βλ	0,76	1,25 aβλ	1,20 aβλ	1,23
126	0,85 βλ	0,70 βλ	0,78	1,50 aβλ	1,75 a*βλ	1,63
252	0,80 βλ	1,18 *βλ	0,99	1,88 b*βλ	2,35 a*β	2,11
504	1,45 *βλ	1,78 *β	1,61	2,03 b*βλ	2,43 a*β	2,23
Média	0,98 a	1,09 a		1,663	1,931	
Testemunha		0,65			1,23	
SPT		2,9			3,58	
KCl + SPT		2			2,45	
LVd: DMSTukey= 0,17; DMSDunnett _(testemunha) =0,47; DMSDunnett _(SPT) =0,49; DMSDunnett _(KCl+SPT) =0,47; CV (%)=21,36						
RQo: DMSTukey= 0,26; DMSDunnett _(testemunha) =0,37; DMSDunnett _(SPT) =0,56; DMSDunnett _(KCl+SPT) =0,37; CV(%)=10,05						
2º cultivo						
63	0,88 βλ	0,93 βλ	0,9	1,80 λ	1,65 βλ	1,72
126	1,28 βλ	1,33 βλ	1,3	2,13 *	1,43 βλ	1,78
252	1,57 *βλ	2,05 *βλ	1,81	2,13 *	1,93 λ	2,03
504	2,13 *βλ	2,12 *βλ	2,12	2,43 *	2,57 *	2,5
Média	1,46 a	1,61 a		2,12 a	1,89 a	
Testemunha		0,92			1,23	
SPT		3,18			2,48	
KCl + SPT		2,88			2,72	
LVd: DMSTukey= 0,21; DMSDunnett _(testemunha) =0,59;DMSDunnett _(SPT) =0,59; DMSDunnett _(KCl+SPT) =0,59; CV (%)=18,14						
RQo: DMSTukey= 0,25; DMSDunnett _(testemunha) =0,71; DMSDunnett _(SPT) =0,68; DMSDunnett _(KCl+SPT) =0,71; CV(%)=17,41						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do SPT (β), e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

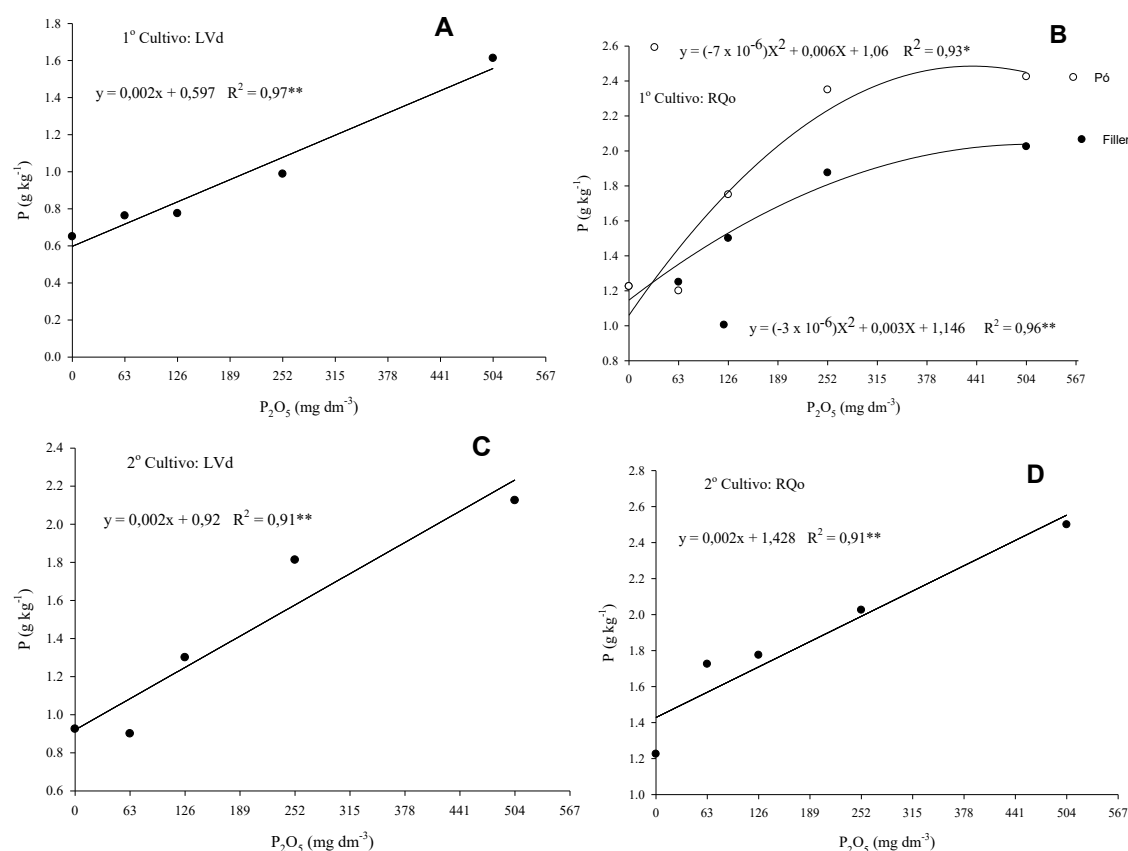


FIGURA6: Teores de P (g kg^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de P_2O_5 (mg dm^{-3}) em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd: A e C) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo: B e D).

* significativo a 5% de probabilidade ; ** significativo a 1% de probabilidade.

4.1.5 Teores de Ca na parte aérea

Após o primeiro cultivo e em ambos os solos, diferenças significativas entre as granulometrias de kamafeugito apresentaram maior teor de Ca na parte aérea das plantas quando aplicado na forma pó. Por outro lado, após o segundo cultivo, também em ambos os solos, as granulometrias do kamafeugito não diferiram entre si (TABELA 9). Para a mesma variável, o kamafeugito apresentou diferenças apenas no solo argiloso para o segundo cultivo, superando a testemunha quando aplicado na granulometria filler e nas doses 3334 e 13336 mg dm^{-3} .

O teor de cálcio foliar das plantas de feijão não foi influenciado pela aplicação das doses crescentes do kamafeugito. A variável não apresentou interação positiva entre

fonte e doses, nem demonstrou diferenças entre doses. Todos os tratamentos, incluindo a testemunha, apresentaram teor de Ca foliar dentro do nível crítico recomendado para a cultura. No solo argiloso, a média do teor de Ca foliar foi de 29,32 g kg⁻¹ no primeiro cultivo e 26,40 g kg⁻¹ no segundo cultivo. Esses valores se encontraram dentro do nível crítico de Ca foliar recomendado pela comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (1999) para a cultura de feijão. No caso do solo arenoso, a média do teor de Ca foliar foi de 23,75 g kg⁻¹ e 22,87 g kg⁻¹ após o primeiro e segundo cultivo, respectivamente. Esses valores se encontraram acima da faixa de suficiência recomendada por Linhares (2007) para o feijão-caupi na floração. Isso significa que a quantidade de calcário aplicado no solo para aumentar o pH e a saturação por bases foi suficiente para atender a necessidade de Ca das plantas. Semelhante a este experimento, em solo que recebeu calcário, Silva *et al.* (2012) não verificaram aumento no teor de Ca foliar de plantas de feijão com a aplicação de pó de basalto.

TABELA 9: Teores de Ca (g kg⁻¹) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de kama fugito

Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- g kg ⁻¹ -----					
1667	26,2	30,2	28,2	22,1	24,5	23,3
3334	28,1	32,5	30,3	22,6	24,8	23,7
6668	28,6	30,4	29,5	24,5	24,3	24,4
13336	28,6	30,3	29,5	23,2	25,0	24,1
Média	27,9 b	30,8 a		23,1 b	24,7 a	
Testemunha	29,1			23,2		
Solo LVd: DMSTukey=1,56; DMSDunnett= 4,32; CV (%)= 7,29 Solo RQo: DMSTukey= 1,28; DMSDunnett= 3,55; CV(%)= 7,36						
2º cultivo						
1667	27,3	26,9	27,1	22,4	23,1	22,7
3334	27,9 *	26,8	27,4	24,7	25,1	24,9
6668	27,3	26,0	26,6	20,8	25,9	23,3
13336	27,5 *	27,1	27,3	22,5	24,0	23,2
Média	27,5 a	26,7 a		22,6 a	24,5 a	
Testemunha	23,55			20,16		
Solo LVd: DMSTukey=1,38; DMSDunnett=3,83; CV (%)= 7,09 Solo RQo: DMSTukey= 3,33; DMSDunnett= 9,21; CV (%)= 19,66						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.1.6 Teores de Mg na parte aérea

No solo argiloso, após o primeiro cultivo, não foram observadas diferenças entre as granulometrias de kamafeugito quanto ao teor de Mg na parte aérea das plantas (TABELA 10). Neste mesmo solo, após o segundo cultivo, houve interação significativa entre as doses e as granulometrias, sendo que a aplicação do kamafeugito na dose de 1667 mg dm^{-3} na granulometria filler resultou em teores superiores à forma pó. Tanto no primeiro como no segundo cultivo, as doses do kamafeugito não demonstraram diferenças significativas em relação à testemunha.

No solo arenoso, o kamafeugito na forma de filler demonstrou superioridade à forma pó após o primeiro cultivo, porém não diferiram no segundo cultivo. Neste solo, após o primeiro cultivo, todas as doses do produto na forma de filler promoveram teores de Mg foliar superiores à testemunha, enquanto que, após o segundo cultivo, os valores foram estatisticamente iguais.

De modo geral, as doses crescentes do kamafeugito não influenciaram o teor de Mg foliar em plantas de feijão. Não houve modelo de ajuste significativo para as doses do kamafeugito em ambos os cultivos e em ambos os solos. Entretanto, em todos os tratamentos, incluindo a testemunha, o teor de Mg foliar se apresentou acima do nível crítico recomendado pela comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (1999) para a cultura. Pode-se deduzir que o Mg não foi limitante nos solos devido à aplicação dos carbonatos de Ca e Mg visando a elevação do pH e a saturação por bases. Silva *et al.* (2012) tampouco verificaram aumento no teor de Mg foliar de plantas de feijão com a aplicação de pó de basalto em solo adubado com calcário.

TABELA 10: Teores de Mg (g kg^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de kamafulgito

Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- g kg ⁻¹ -----					
1667	7,0	7,3	7,1	8,0 *	7,6	7,8
3334	7,4	7,4	7,4	7,6 *	6,9	7,3
6668	6,5	7,0	6,7	7,7 *	7,0	7,3
13336	6,7	6,9	6,8	7,7 *	6,9	7,3
Média	6,9 a	7,2 a		7,7 a	7,1 b	
Testemunha	6,9			6,7		
	Solo LVd: DMSTukey= 0,33; DMSDunnett= 0,91 CV (%)= 6,42					
	Solo RQo: DMSTukey= 0,31; DMSDunnett= 0,85; CV (%)= 5,75					
2º cultivo						
1667	8,1 a	7,3 b	7,68	9,3	10,5	9,9
3334	7,4 a	8,1 a	7,74	9,9	10,5	10,2
6668	7,6 a	7,9 a	7,73	10,4	11,6	11,0
13336	8,0 a	7,9 a	7,92	10,8	10,0	10,4
Média	7,8	7,8		10,1 a	10,7 a	
Testemunha	7,7			8,8		
	Solo LVd: DMSTukey= 0,68; DMSDunnett= 0,94; CV (%)= 5,96					
	Solo RQo: DMSTukey= 1,53; DMSDunnett= 4,23; CV (%)= 20,51					

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.2 Análise de nutrientes (K, P, Ca e Mg) acumulados na parte aérea

4.2.1 K acumulado na parte aérea

Quanto ao K acumulado na parte aérea de plantas de feijão semeadas em solos de textura argilosa e arenosa, não foram observadas diferenças entre as formas filler e pó do kamafulgito após ambos os cultivos (TABELA 11).

No primeiro cultivo, o acúmulo de K na parte aérea das plantas foi superior à testemunha quando maiores doses do kamafulgito foram aplicadas (160 mg dm^{-3}) em ambos os tipos de solo. É necessário mencionar que no solo arenoso, o kamafulgito na forma de pó e na dose de 80 mg dm^{-3} também superou a testemunha. No solo argiloso, a aplicação do remineralizador nas doses 80 e 160 mg dm^{-3} resultaram em acúmulo de K semelhantes ao tratamento com KCl, enquanto que, no solo arenoso, o remineralizador

na dose 160 mg dm^{-3} e na forma de pó foi superior ao KCl. O tratamento KCl+SPT superou o kamafugito em ambos os solos independentemente da dose aplicada.

No segundo cultivo, a aplicação do kamafugito na dose de 160 mg dm^{-3} em ambos os tipos de solo mostrou maiores resultados que a testemunha e o KCl. Além disso, quando aplicado na forma de filler e na dose de 80 mg dm^{-3} , valores de K acumulado superiores à testemunha foram obtidos em ambos os tipos de solo. Da mesma maneira, a dose 40 mg dm^{-3} de kamafugito na forma de filler proporcionou valor de K acumulado na parte aérea superior à testemunha no solo arenoso. Em ambos os solos, o tratamento KCl+SPT resultou em valores de K acumulado na parte aérea iguais aos observados para as doses de 40 mg dm^{-3} (filler), 80 mg dm^{-3} e 160 mg dm^{-3} do kamafugito. A similaridade ou a superioridade do kamafugito 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. Entretanto, Castro *et al.* (2006) encontraram menor acúmulo de K nas plantas de girassol adubadas com pó de rochas em comparação ao KCl. A maior acumulação de K foliar observado pelas plantas no solo arenoso em comparação com o solo argiloso é consequência da maior produção de matéria seca das plantas no solo arenoso, devido à menor fixação e maior disponibilidade de P observado neste solo.

Independente da granulometria do kamafugito, em ambos os solos e cultivos o aumento da dose de kamafugito promoveu crescimento linear quanto ao K acumulado pelas plantas (FIGURA 7), como também observado por Kist (2005). No solo argiloso observou-se diferença de 60% e 80% entre o K acumulado na dose máxima e a testemunha (dose 0) após o primeiro e segundo cultivo, respectivamente. No solo arenoso observou-se diferenças de 65% e 69% no primeiro e segundo cultivos, respectivamente, entre os valores da dose máxima e dose zero de K_2O . As diferenças em termos de K acumulado pelas plantas podem ser explicadas pelo baixo teor de K presente no solo no tratamento sem aplicação do produto e o K proporcionado pelo kamafugito na sua maior dose (160 mg dm^{-3} de K_2O), oferecendo maior disponibilidade do nutriente para as plantas. O aumento observado na diferença entre K acumulado nas maiores e menores doses de kamafugito no segundo cultivo, em comparação ao primeiro cultivo, confirmaram a capacidade residual do produto.

Silva *et al.* (2012) não observaram diferenças no K acumulado em folhas de feijão com a aplicação de doses crescentes de pó de basalto (2,5; 5; 10 e 20 t ha^{-1}) em avaliações feitas no campo em dois cultivos consecutivos. No entanto, os autores

afirmam que o teor de K nas folhas do feijão foi significativamente superior no tratamento que recebeu adubo solúvel comparado aos tratamentos que receberam o pó de basalto, associados ou não ao esterco bovino e à testemunha.

TABELA 11: Acúmulo de K (mg vaso⁻¹) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas aos 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de K₂O proveniente da fonte Kamafugito e do adubo mineral (KCl)

Dose de K ₂ O (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- mg vaso ⁻¹ -----					
20	44,6 +λ	33,8 +λ	39,2	43,9 λ	51,5 λ	47,7
40	46,2 λ	41,4 +λ	43,8	58,2 λ	55,3 λ	56,8
80	53,5 λ	46,1 λ	49,8	66,1 λ	85,0 *λ	75,5
160	81,2 *λ	75,1 *λ	78,1	103,3 *λ	119,7 *+λ	111,5
Média	56,4 a	49,1 a		67,9 a	77,9 a	
Testemunha		31,3			39,2	
KCl		70,5			67,6	
KCl + SPT		363,3			364,4	
LVd: DMSTukey= 8,91; DMSDunnett _(testemunha) =24,98; DMSDunnett _{KCl} =24,98; DMSDunnett _(KCl + SPT) =28,58; CV (%)= 3,45						
RQo: DMSTukey= 26,95; DMSDunnett _(testemunha) =37,84; DMSDunnett _(KCl) =37,84; DMSDunnett _(KCl + SPT) =40,14; CV(%)=13,5						
2º cultivo						
20	31,1 λ	30,5 λ	30,78	25,0 λ	25,2 λ	25,1
40	46,4	32,3 λ	39,34	44,3 *	22,7 λ	33,5
80	57,6 *	50,3	53,93	41,0 *	30,9	36,0
160	81,5 *+	69,1 *	75,3	59,2 *+	59,4 *+	59,3
Média	54,1 a	45,5 a		42,4 a	34,6 a	
Testemunha		14,6			18,2	
KCl		34,2			31,8	
KCl + SPT		82,6			53,5	
LVd: DMSTukey= 13,86; DMSDunnett _(testemunha) =38,86; DMSDunnett _(KCl) =38,86; DMSDunnett _(KCl + SPT) =39,25; CV (%)= 42,68						
RQo: DMSTukey= 8,05; DMSDunnett _(testemunha) =22,58; DMSDunnett _(KCl) =22,58; DMSDunnett _(KCl + SPT) =25,37; CV(%)= 31,03						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do KCl (+), e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

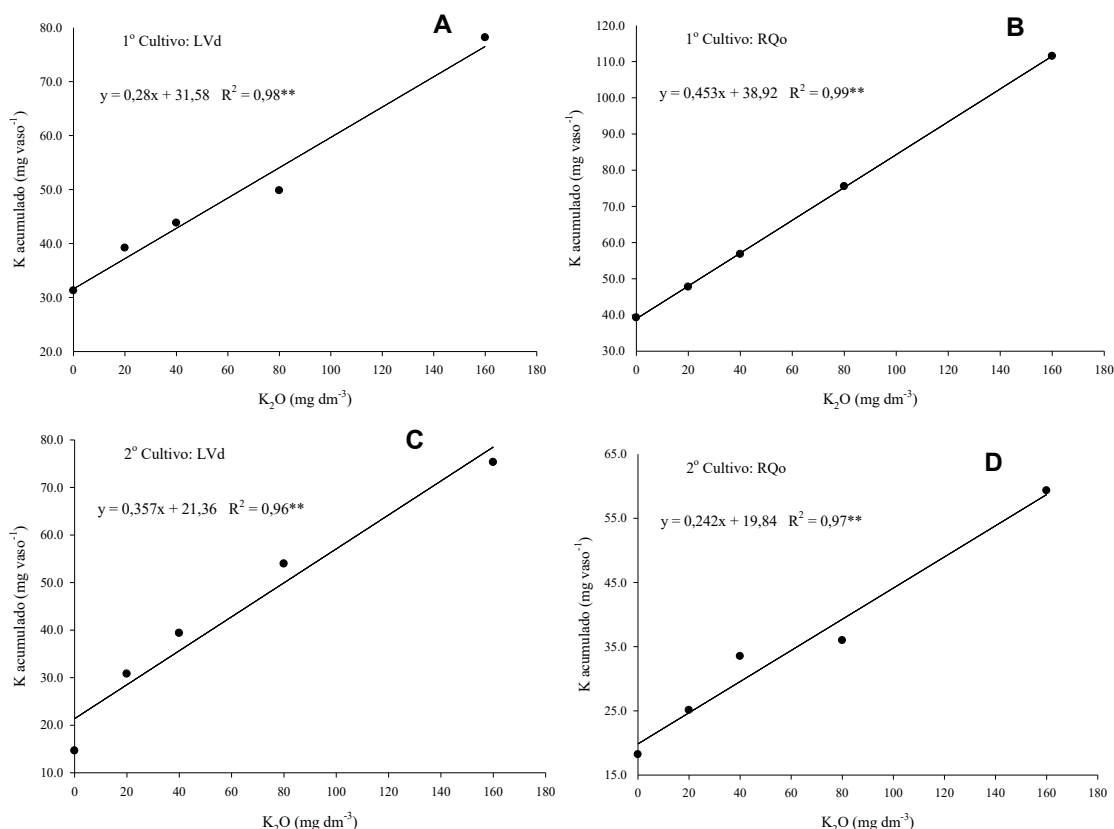


FIGURA 7: Acúmulo de K(mg vaso⁻¹) na parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de K₂O (mg dm⁻³) em LVd (A e C) e RQo (B e D).

****** significativo a 1% de probabilidade.

4.2.2 P acumulado na parte aérea

Analizando o fósforo acumulado na parte aérea das plantas, não foram encontradas diferenças entre as granulometrias do kamafeugito em ambos os solos e cultivos (TABELA 12). Entretanto, a maior dose do kamafeugito (504 mg dm⁻³) superou a testemunha no solo argiloso para ambos os cultivos, exceto na forma de filler após o primeiro cultivo. Nesta mesma dose, o kamafeugito apresentou valores inferiores aos tratamentos com as fontes solúveis SPT e KCl+SPT, com exceção do segundo cultivo, onde foram observados resultados similares ao SPT.

Para o solo de textura arenosa, o acúmulo de P com a dose de 504 mg dm⁻³ do kamafeugito superou a testemunha em ambos os cultivos. Adose de 252 mg dm⁻³ do produto na forma de pó foi melhor que a testemunha no primeiro cultivo. Os tratamentos com SPT e KCl+SPT superaram o kamafeugito no primeiro cultivo. No segundo cultivo, a maior dose de kamafeugito na forma de pó apresentou melhor resultado que o superfosfato triplo e similar ao combinado KCl+SPT.

Em ambos os solos percebe-se que o remineralizador na sua maior dose tendeu a apresentar resultados similares ou superiores aos fertilizantes solúveis. A fonte SPT, por ser uma fonte muito solúvel, fornece o P rapidamente para as plantas e sua disponibilidade no solo tende a diminuir, enquanto que a fonte kamafugito, caracterizada como uma fonte pouco solúvel, disponibiliza os nutrientes gradualmente ao longo do tempo. Novais e Smith (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. No segundo cultivo, o maior acúmulo do P em plantas de feijão observado nos tratamentos com o remineralizador demonstra o claro efeito residual da fonte kamafugito, o que concorda com a afirmação de Novais e Smith (1999).

Houve influência das doses de kamafugito no acúmulo de P pelas plantas de feijão (FIGURA 8). Observou-se que, conforme aumentaram as doses do remineralizador, o P acumulado na parte aérea das plantas aumentou linearmente. Evidenciou-se que, no solo argiloso, para cada 100 mg dm^{-3} de P_2O_5 proveniente do kamafugito, aumentos de $0,9 \text{ mg vaso}^{-1}$ e $2,8 \text{ mg vaso}^{-1}$ de P acumulado na matéria seca aérea das plantas foram obtidos após o primeiro e segundo cultivo, respectivamente. Houve a mesma tendência no solo arenoso, evidenciando acúmulo de P na matéria seca aérea das plantas de $2,8 \text{ mg de P vaso}^{-1}$ e $2,7 \text{ mg de P vaso}^{-1}$, após o primeiro e o segundo cultivo, respectivamente, para cada 100 mg dm^{-3} de P_2O_5 adicionados com o kamafugito. O maior acúmulo de P observado com o aumento das doses de kamafugito está relacionado aos aumentos dos teores de P foliar e da produção de matéria seca promovidos pelas maiores doses da fonte.

TABELA 12: Acúmulo de P (mg vaso⁻¹) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas 42 aos DAS, em função da aplicação de doses crescentes de P₂O₅ proveniente da fonte kama fugito e do adubo mineral (SPT)

Dose de P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
----- mg vaso ⁻¹ -----						
63	2,1 βλ	1,9 βλ	2,0	4,1 βλ	4,2 βλ	4,2
126	2,3 βλ	2,3 βλ	2,3	6,4 βλ	6,5 βλ	6,4
252	2,5 βλ	3,1 βλ	2,8	9,1 βλ	13,1 *βλ	11,1
504	5,9 βλ	6,8 *βλ	6,3	15,0 *βλ	19,0 *βλ	17,0
Média	3,2 a	3,5 a		8,7 a	10,7 a	
Testemunha		1,63			3,37	
SPT		30,87			42,84	
KCl + SPT		52,6			65,99	
LVd: DMSTukey= 1,63; DMSDunnett _(testemunha) = 4,58; DMSDunnett _(SPT) =2,84; DMSDunnett _(KCl+SPT) =4,58; CV (%)=27,78						
RQo: DMSTukey= 2,54; DMSDunnett _(testemunha) = 7,12; DMSDunnett _(SPT) =9,66; DMSDunnett _(KCl+SPT) =7,12; CV(%)=23,85						
2º cultivo						
63	2,1 βλ	2,2 βλ	2,2	5,2 λ	3,8 βλ	4,5
126	4,4 βλ	3,7 βλ	4,1	9,7 λ	3,2 βλ	6,4
252	7,0 βλ	8,3 βλ	7,6	9,3 λ	6,4 λ	7,9
504	13,7 *λ	17,2 *λ	15,5	15,1 *λ	17,9 *β	16,5
Média	6,8 a	7,9 a		9,81 a	7,81 a	
Testemunha		1,85			1,62	
SPT		20,51			11,16	
KCl + SPT		30,9			25,39	
Solo LVd: DMSTukey= 2,72; DMSDunnett _(testemunha) =7,64; DMSDunnett _(SPT) =6,85; DMSDunnett _(KCl+SPT) =7,64; CV (%)=41,07						
Solo RQo: DMSTukey= 2,98; DMSDunnett _(testemunha) =8,35; DMSDunnett _(SPT) =6,39;DMSDunnett _(KCl+SPT) =8,35; CV(%)=42,11						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do SPT (β), e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

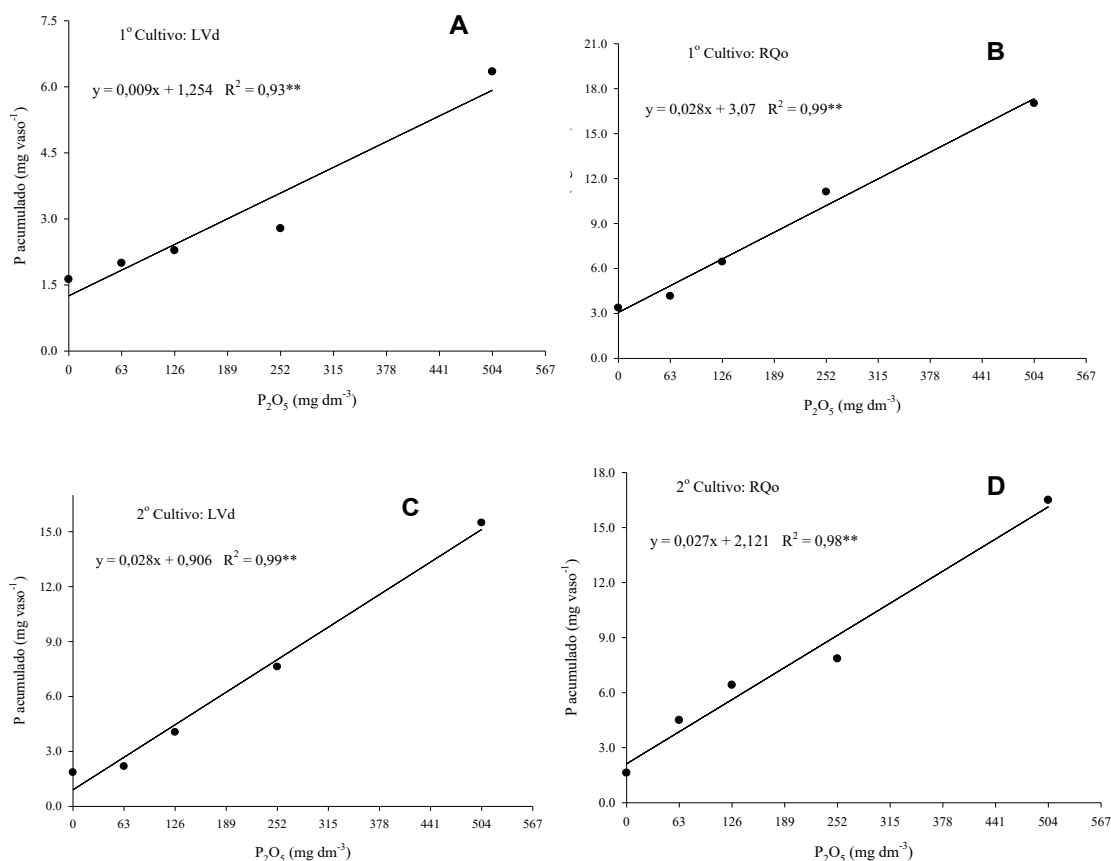


FIGURA 8: Acúmulo de P (mg vaso^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de P_2O_5 (mg dm^{-3}) em LVd (A e C) e RQo (B e D).

****** significativo a 1% de probabilidade.

4.2.3 Ca acumulado na parte aérea

Não foram observadas diferenças entre as granulometrias do kamafugito quanto ao Ca acumulado na parte aérea das plantas de feijão (TABELA 13). Entretanto, valores superiores à testemunha foram obtidos com a aplicação do kamafugito na dose de 13336 mg dm^{-3} , para ambos os cultivos e solos. Além disso, no primeiro cultivo e na dose de 6668 mg dm^{-3} do kamafugito na granulometria pó, observou-se resultado superior à testemunha em solo arenoso.

Em ambos os solos e cultivos, acréscimos lineares no conteúdo de Ca acumulado foram obtidos à medida que aumentaram as doses de kamafugito (FIGURA 9). Esses resultados podem ser associados aos acréscimos na produção de matéria seca da parte aérea do feijão, sendo superior nas maiores doses (tabela 6, figura 2) e ao teor de Ca nas folhas que não foi influenciado pelas doses crescentes desse produto. Assim,

a diferença quanto ao Ca foliar acumulado foi devido à maior produção de massa seca atingida pelas maiores doses do kama fugito e não pelo teor de Ca foliar.

É importante lembrar que o Ca não foi um nutriente limitante neste experimento devido à aplicação de quantidade suficiente de calcário em todos os tratamentos. Contudo, sabendo que o nutriente faz parte da composição do kama fugito (3,3%), pode-se considerar esse produto como uma fonte potencial de Ca mesmo que seja em pequenas quantidades. A complementação com o kama fugito, portanto, apesar de não ser uma fonte de Ca por excelência, contribuiu para uma melhor nutrição das plantas, seja pelo seu maior efeito residual ou seu efeito multinutrientes.

TABELA 13: Acúmulo de Ca (mg vaso^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas aos 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de kama fugito

Doses crescentes de Kamaflugito						
Dose (mg dm ⁻³)	LVd			RQo		
	Kamaflugito Filler	Kamaflugito Pó	Média	Kamaflugito Filler	Kamaflugito Pó	Média
1º cultivo						
	----- mg vaso ⁻¹ -----					
1667	68,2	80,5	74,3	70,5	86,1	78,3
3334	76,5	104,3	90,4	96,5	91,7	94,1
6668	87,8	80,3	84,0	119,0	136,1 *	127,6
13336	109,8 *	115,3 *	112,5	171,0 *	201,4 *	186,2
Média	85,5 a	95,1 a		114,3 a	128,8 a	
Testemunha	73,36			64,47		
Solo LVd: DMSTukey=11,82; DMSDunnett= 32,74; CV (%)= 18,31						
Solo RQo: DMSTukey= 24,35; DMSDunnett= 67,45; CV (%)= 28,95						
2º cultivo						
1667	65,1	65,6	65,4	62,4	51,0	56,7
3334	99,4	70,9	85,2	111,9 *	56,4	84,2
6668	118,5	106,3	112,4	87,8	77,7	82,8
13336	173,7 *	220,8 *	197,2	140,7 *	171,0 *	155,9
Média	114,2 a	115,9 a		100,7 a	89,0 a	
Testemunha	45,81			27,9		
Solo LVd: DMSTukey=30,73; DMSDunnett= 85,12; CV (%)= 39,21						
Solo RQo: DMSTukey=23,60; DMSDunnett= 65,37; CV (%)= 36,97						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

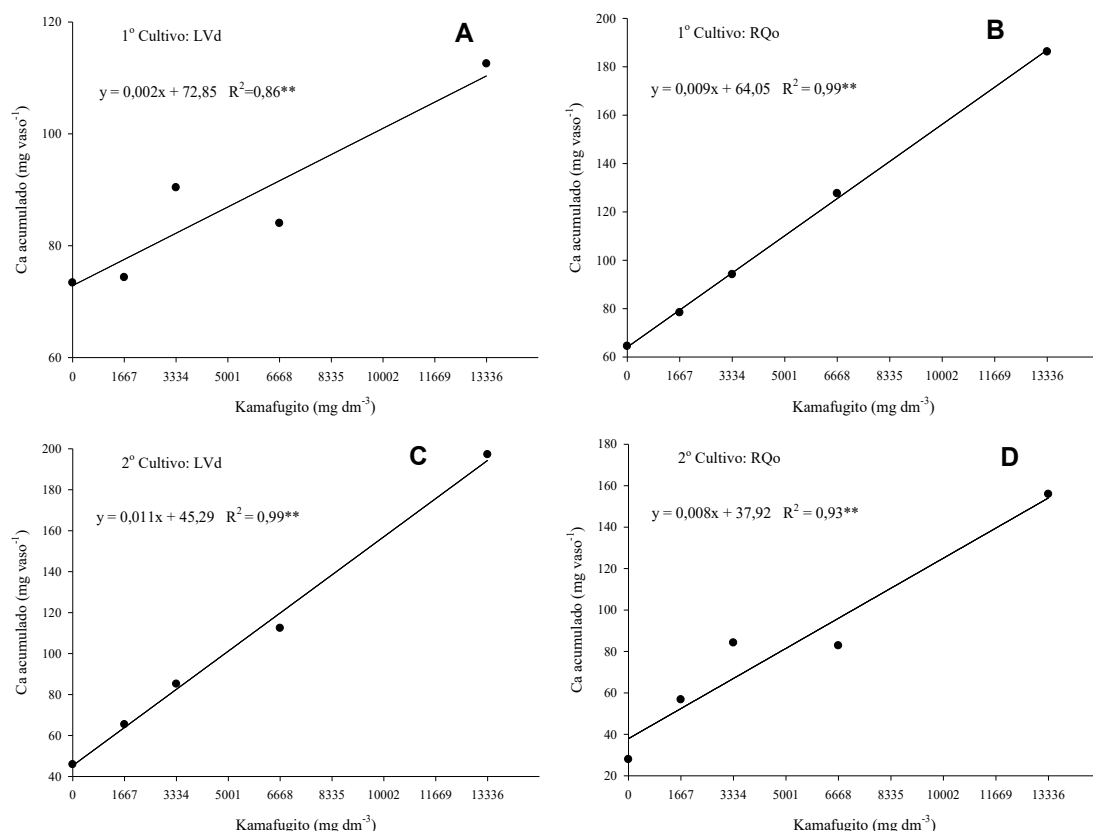


FIGURA 9: Acúmulo de Ca (mg vaso^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de kamafugito (mg dm^{-3}) em LVd (A e C) e RQo (B e D).

****** significativo a 1% de probabilidade.

4.2.4 Mg acumulado na parte aérea

Não houve diferenças estatísticas entre as granulometrias do kamafugito quanto ao Mg acumulado na parte aérea das plantas de feijão (TABELA 14). No solo argiloso, tanto no primeiro como no segundo cultivo, o acúmulo de Mg na parte aérea das plantas foi significativamente superior à testemunha quando o kamafugito foi aplicado na dose 13336 mg dm^{-3} . Para o solo arenoso, as doses de 6668 mg dm^{-3} e 13336 mg dm^{-3} do kamafugito demonstraram resultados superiores à testemunha, tanto no primeiro como no segundo cultivo, com exceção da dose 6668 mg dm^{-3} do kamafugito na granulometria pó, que foi estatisticamente igual à testemunha no segundo cultivo. Além disso, a dose de 3334 mg dm^{-3} do kamafugito na forma de filler resultou em maior acúmulo de Mg no segundo cultivo quando comparado à testemunha. Rodriguez (2017), avaliando pó de rocha Sienítica Ultrapotássica e Hydropotássio na cultura de arroz,

observou acúmulo de Mg inferior ao tratamento controle, independentemente da dose utilizada.

Observou-se que as maiores doses de kama fugito promoveram maior acúmulo de Mg na parte aérea das plantas (FIGURA 10). Para ambos os solos e cultivos, modelo de regressão linear foi obtido para as médias desta variável.

Assim como ocorreu com o acúmulo de Ca, as doses de kama fugito não influenciaram os teores de Mg na parte aérea das plantas de feijão. Esse maior acúmulo de Mg com as maiores doses de kama fugito são decorrentes da maior produção de matéria seca e não do teor de Mg foliar. Entretanto, o kama fugito, apesar de ser uma fonte pouco solúvel, sua virtude como fonte multinutriente de liberação gradual pode contribuir para melhorar a nutrição das plantas.

TABELA 14: Acúmulo de Mg (mg vaso⁻¹) na parte aérea de plantas de feijão após dois cultivos consecutivos em LVd e RQo, colhidas aos 42 DAS, em função da aplicação de doses crescentes de kama fugito

Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	-----mg vaso ⁻¹ -----					
1667	18,0	19,1	18,5	25,2	26,5	25,8
3334	19,9	23,8	21,9	32,0	25,4	28,7
6668	19,8	18,4	19,1	37,3 *	39,0 *	38,1
13336	25,8 *	26,2*	26,0	56,6 *	55,3 *	56,0
Média	20,9 a	21,9 a		37,8 a	36,6 a	
Testemunha	17,4			18,35		
Solo LVd: DMSTukey= 2,45; DMSDunnett= 6,80; CV (%)= 16,07 Solo RQo: DMSTukey= 6,45; DMSDunnett= 17,88; CV (%)= 25,21						
2º cultivo						
1667	19,3	17,9	18,6	25,0	22,8	23,9
3334	26,1	20,9	23,5	45,0 *	23,6	34,3
6668	33,2	32,0	32,6	43,7 *	34,6	39,2
13336	51,1 *	64,3 *	57,7	67,3 *	69,4 *	68,3
Média	32,5 a	33,8 a		45,2 a	37,6 a	
Testemunha	15,14			12,09		
Solo LVd: DMSTukey= 9,40; DMSDunnett= 26,04 CV (%)= 41,37 Solo RQo: DMSTukey= 9,055; DMSDunnett= 26,45; CV (%)= 34,27						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

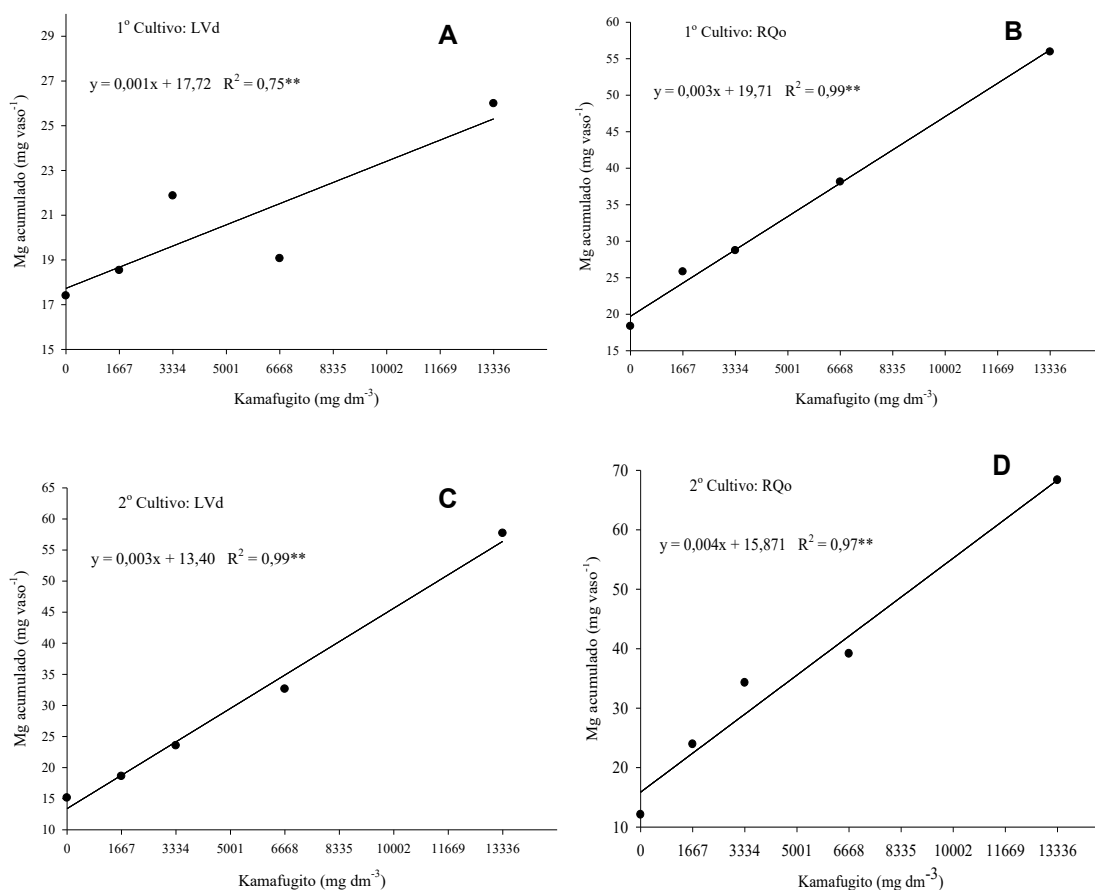


FIGURA 10: Acúmulo de Mg (mg vaso^{-1}) na parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de kamafeugito (mg dm^{-3}), em LVd (A e C) e RQo (B e D).

****** significativo a 1% de probabilidade.

4.3 pH e nutrientes (K, P, Ca, Mg) no solo

4.3.1 pH do solo

O pH dos solos não foi influenciado pela aplicação do kamafeugito nas duas granulometrias (TABELA 15).

Cabe recordar que foram aplicadas doses iguais de CaCO_3 e MgCO_3 em todos os vasos, aplicando maior quantidade de CaCO_3 no solo argiloso durante a instalação do experimento, com o objetivo de elevar o pH e a saturação por bases dos solos. O kamafeugito, mesmo possuindo Ca e Mg na sua composição, não demonstrou influências sobre o pH do solo após os dois ciclos do experimento. 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 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, empregando pó de rocha a base de piroxênio/anfibólito milonitizado, após um ano de experimento.

No primeiro cultivo os valores de pH, tanto no solo argiloso como no solo arenoso, não foram influenciados pelas doses crescentes de kamafigito. O pH médio de ambos os solos para as 5 doses do kamafigito foi de 5,82. No segundo cultivo observou-se pequena influência das doses crescentes do kamafigito sobre o pH, onde para cada 1000 mg dm⁻³ de kamafigito adicionado, acréscimos de 0,03 unidades de pH foram obtidos (FIGURA 11). O pH médio do solo arenoso no segundo cultivo foi de 4,19. Observou-se redução nos valores de pH de ambos os solos após o segundo cultivo em relação aos valores obtidos após o primeiro cultivo. Isso pode ser explicado pelo fato da taxa de extração de bases pelas plantas ser superior à velocidade de liberação de bases do produto. Essa afirmação é sustentada pelos menores teores de bases trocáveis (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) observados em ambos os solos após o segundo cultivo em relação ao primeiro cultivo. Cabe mencionar que o solo arenoso é caracterizado por ser de baixo poder tampão, isto é, com pouca capacidade para resistir à mudança do seu pH.

TABELA 15: pH do solo após dois cultivos consecutivos de feijão em LVd e RQo em função da aplicação de doses crescentes do kama fugito

Ranking da aplicação de doses crescentes de kamafugito						
Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- pHCaCl ₂ -----					
1667	5,85	5,85	5,85	5,74	5,85	5,79
3334	5,75	5,79	5,77	5,88	5,83	5,85
6668	5,77	5,69	5,73	5,84	5,82	5,83
13336	5,83	5,92	5,87	5,89	5,90	5,89
Média	5,80 a	5,81 a		5,84 a	5,85 a	
Testemunha	5,86			5,74		
Solo LVd: DMSTukey= 0,08; DMSDunnett= 0,22; CV (%)= 1,90						
Solo RQo: DMSTukey= 0,09; DMSDunnett= 0,26; CV(%)= 2,17						
2º cultivo						
1667	4,56	4,61	4,58	4,04	4,30	4,17
3334	4,57	4,68	4,63	4,12	4,31	4,21
6668	4,79	4,74	4,77	4,12	4,20	4,16
13336	4,89	5,04	4,96	4,38	4,30	4,35
Média	4,70 a	4,77 a		4,16 a	4,28 a	
Testemunha	4,65			4,06		
Solo LVd: DMSTukey=0,15; DMSDunnett= 0,41; CV (%)= 4,31						
Solo RQo: DMSTukey=0,13; DMSDunnett= 0,35; CV (%)=4,08						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

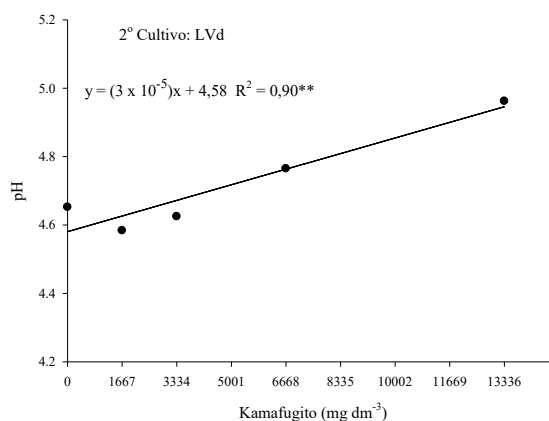


FIGURA 11: pH do solo após o 2º cultivo do feijão em função da aplicação de doses crescentes de kama fugito em LVd

** significativo a 1% de probabilidade.

4.3.2 Teor de K no solo

No primeiro cultivo, a dose 160 mg dm^{-3} de K_2O aplicada via kama fugito resultou em maior teor de K no solo argiloso em comparação à testemunha (TABELA 16). Nesta mesma dose, a aplicação do kama fugito na forma de filler no solo arenoso superou a testemunha. O tratamento KCl+SPT promoveu teores superiores às doses do remineralizador no solo argiloso, enquanto que, para o solo arenoso, as fontes foram estatisticamente iguais.

Em ambos os solos e cultivos, os teores de K no solo com a aplicação do remineralizador foram inferiores a aqueles observados nos tratamentos cuja fonte KCl foi aplicada. No segundo cultivo, para ambos os solos, o kama fugito não diferiu dos tratamentos testemunha e KCl+SPT. Esses resultados podem ser justificados pela maior produção de matéria seca e maior extração de K pelas plantas nos tratamentos com kama fugito. Além disso, a fonte KCl é 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 kama fugito, que é uma fonte pouco solúvel. Segundo Silfverberg e Hartman (1999), o K liberado da biotita pode ser reservado por muito tempo no solo.

Para o solo argiloso, diferenças entre as granulometrias do produto foram obtidas após o primeiro cultivo, sendo a forma filler superior à forma pó. Já no segundo cultivo não foram observadas diferenças entre as formas do produto. No solo arenoso não foram observadas diferenças entre as granulometrias do produto no primeiro cultivo, enquanto que, no segundo cultivo, o produto na forma de pó apresentou melhor resultado.

Castro *et al.* (2006), avaliando 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 Distroférrico em relação ao Neossolo Quartzarênico devido a, neste último, o solo possuir menor CTC e, portanto, menor resistência à troca de cátions. O resultado encontrado por Castro *et al.* (2006) tem similaridade com o observado neste estudo, onde após o primeiro cultivo e em ambos os solos, independentemente da forma do produto, a aplicação de doses de K_2O aplicada via o kama fugito promoveu aumento nos

teores de K no solo (FIGURA 12). Porém, no segundo cultivo, não houve ajuste significativo para as doses do kama fugito em função dos teores de K no solo.

Segundo os limites de interpretação de teores de K no solo propostos pela comissão de fertilidade do solo do estado de minas gerais (1999), o teor de K em ambos os solos e após ambos os cultivos estão no nível bom para o tratamento com KCl, exceto após o segundo cultivo no solo argiloso, em que o teor de K para esse tratamento está classificado como médio. Segundo o mesmo autor, o tratamento KCl+SPT em ambos os solos apresentou teor de K trocável de nível médio e para todos os outros tratamentos os níveis de K trocável estão classificados como baixo a muito baixo, exceto a maior dose de kama fugito no solo arenoso após o primeiro cultivo, que apresentou valor de K trocável médio. Devido à alta mobilidade desse elemento no solo, em condições de alta disponibilidade, o K pode ser facilmente perdido por lixiviação ou absorvido em quantidades excessivas pelas plantas (FAQUIN, 2005). A planta de feijão extrai grandes quantidades de K do solo e, sem a reposição desse elemento, o esgotamento de sua reserva no solo pode ocorrer (MELO e CARDOSO, 2017). Por isso, é recomendado a aplicação de K em doses variando entre 30 kg ha⁻¹ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O para solos com alto (≥ 50 mg kg⁻¹) e baixo (<50 mg kg⁻¹) níveis de potássio, respectivamente (MELO e CARDOSO, 2017).

TABELA 16: Teores de K ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) extraído com Mehlich-1 no solo após dois cultivos consecutivos com feijão em LVd e RQo em função da aplicação de doses de K_2O provenientes do kama fugito

Dose de K ₂ O (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
----- cmol _c dm ⁻³ -----						
20	0,087 +λ	0,073 +λ	0,080	0,087 +	0,088 +	0,087
40	0,090 +λ	0,076 +λ	0,083	0,087 +	0,090 +	0,088
80	0,092 *+λ	0,091 +λ	0,092	0,096 +	0,092 +	0,094
160	0,095 *+	0,092 *+λ	0,094	0,124 *+	0,096 +	0,110
Média	0,091 a	0,083 b		0,098 a	0,091 a	
Testemunha	0,071			0,08		
KCl	0,242			0,25		
KCl + SPT	0,121			0,11		
Solo LVd: DMSTukey= 0,0073; DMSDunnett _{test.} =0,0205; DMSDunnett _{KCl} =0,0205;DMSDunnett _{SPT+KCl} =0,0176; CV (%)= 9,96						
Solo RQo: DMSTukey= 0,015; DMSDunnett _{test.} = 0,042;DMSDunnett _{KCl} = 0,042;DMSDunnett _{SPT+KCl} =0,028; CV (%)= 19,09						
2ºcultivo						
20	0,04 +	0,037 +	0,039	0,037 +	0,045 +	0,04
40	0,037 +	0,032 +	0,035	0,032 +	0,050 +	0,04
80	0,037 +	0,032 +	0,035	0,032 +	0,040 +	0,04
160	0,037 +	0,037 +	0,037	0,040 +	0,040 +	0,04
Média	0,038 a	0,035 a		0,036 b	0,044 a	
Testemunha	0,032			0,048		
KCl	0,158			0,185		
KCl + SPT	0,037			0,035		
Solo LVd: DMSTukey= 0,005; DMSDunnett _{test.} = 0,014; DMSDunnett _{KCl} = 0,014; DMSDunnett _{SPT+KCl} =0,012; CV (%)= 14,64						
Solo RQo: DMSTukey= 0,008; DMSDunnett _{test.} =0,024; DMSDunnett _{KCl} =0,024; DMSDunnett _{SPT+KCl} =0,021; CV (%)= 21,11						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do KCl (+), e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

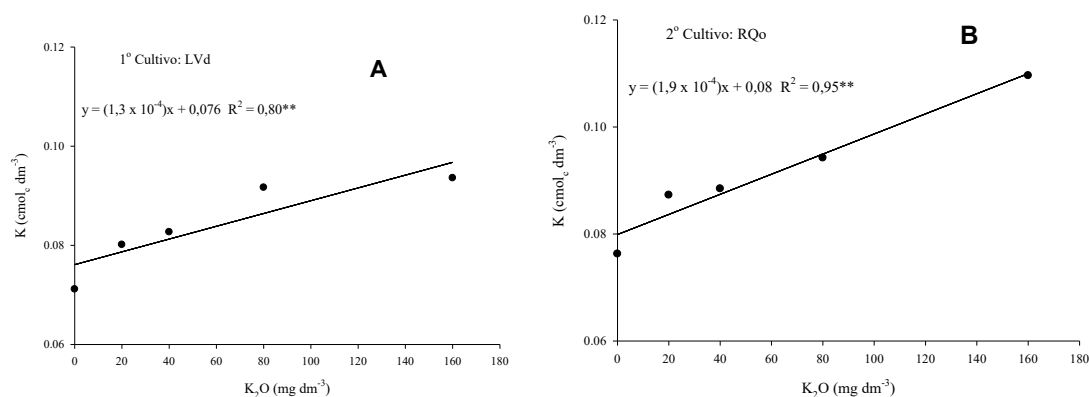


FIGURA 12: Teores de K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo após o 1º cultivo do feijão em função da aplicação de doses crescentes de K_2O (mg dm^{-3}) proveniente do kamafeugito em LVd e RQo.

** significativo a 1% de probabilidade.

4.3.3 Teor de P no solo

Não houve diferenças entre as granulometrias do produto quanto aos teores de P nos solos (TABELA 17). Em ambos os solos e cultivos, todas as doses do kamafeugito resultaram em teores de P no solo inferiores aos tratamentos com as fontes solúveis SPT e KCl+SPT, demonstrando a menor rapidez do remineralizador em disponibilizar o P aos solos em comparação às fontes convencionais solúveis. Ademais, a aplicação do produto na forma de pó e na dose de 504 mg dm^{-3} de P_2O_5 , em ambos os solos e cultivos, resultou em maior teor de P no solo em relação à testemunha. Além disso, as doses de 126 mg dm^{-3} de P_2O_5 aplicadas via kamafeugito na forma de filler e de 252 mg dm^{-3} de P_2O_5 em ambas granulometrias promoveram teores de P no solo arenoso superiores à testemunha.

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/anfibólito milonitizado após um ano de experimento.

Acréscimos lineares nos teores de P no solo com a aplicação de doses crescentes de P_2O_5 via kamafeugito, na granulometria pó e no solo argiloso, foram obtidos após o primeiro cultivo. Por outro lado, não foi obtido ajuste significativo com a aplicação do kamafeugito na forma de filler (FIGURA 13). No mesmo solo, no segundo cultivo, não houve modelo de ajuste significativo independentemente da forma do kamafeugito

enquanto que, para o solo arenoso, acréscimos lineares foram obtidos. Pode-se ressaltar que, nas maiores doses do produto, a liberação de P foi suficiente para aumentar os teores do nutriente no solo e atender a demanda de P das plantas. Entretanto, nas menores doses, a extração de P pelas plantas foi superior à velocidade de liberação do produto, refletindo em menor teor de P no solo. O tratamento adicional com a fonte SPT superou o kama fugito tanto na forma de filler como na forma pó, em ambos os solos e cultivos. Como o feijoeiro absorve o P até a fase final do seu ciclo (POSSE *et al.*, 2010), a extração contínua desse elemento pelas plantas pode justificar o baixo teor de P no solo observado nas menores doses do produto, especialmente por ser uma fonte natural e de lenta liberação.

Segundo os limites de interpretação de teores de P nos solos para as culturas anuais propostos por Raij *et al.* (1997), o teor de P após ambos os cultivos está no nível alto nos tratamentos com a fonte convencional (SPT), tanto no solo argiloso como no solo arenoso. A testemunha, junto aos tratamentos com kama fugito, demonstraram teores de P baixo à muito baixo no solo argiloso após ambos os cultivos. No solo arenoso, após o primeiro cultivo, o teor de P no solo no tratamento com a maior dose de kama fugito ($504 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$) apresentou nível de P médio e baixo após o segundo cultivo, consequência da grande extração de P do feijoeiro (POSSE *et al.*, 2010) e da baixa solubilidade da fonte kama fugito. A extração contínua do P pelas plantas de feijão (POSSE *et al.*, 2010) e a baixa solubilidade do kama fugito justificam o baixo teor de P no solo observado nos tratamentos com o kama fugito.

TABELA 17: Teores de P (mg kg^{-1}) extraído com Resina no solo após dois cultivos consecutivos com feijão em LVd e RQo em função da aplicação de doses de P_2O_5 provenientes do kamafugito

Dose de P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
----- mg dm ⁻³ -----						
63	7,84 βλ	8,03 βλ	7,94	9,24 βλ	10,65 βλ	9,95
126	8,50 βλ	9,28 βλ	8,89	10,39 βλ	12,63 βλ	11,51
252	8,84 βλ	9,22 βλ	9,03	13,62 βλ	14,60 βλ	14,11
504	11,77 βλ	22,40 *βλ	17,08	19,25 βλ	28,29 *βλ	23,77
Média	9,24 a	12,23 a		13,12 a	16,54 a	
Testemunha	10,66			9,54		
SPT	43,04			52,02		
KCl + SPT	44,97			58,49		
Solo LVd: DMSTukey= 3,31; DMSDunnett _{test.} = 9,27; DMSDunnettSPT= 5,37;DMSDunnett _{SPT+KCl} = 9,27; CV (%)= 32,18						
Solo RQo: DMSTukey= 4,48; DMSDunnett _{test.} = 12,56; DMSDunnettSPT= 7,61; DMSDunnett _{SPT+KCl} = 12,56; CV (%)= 33,07						
2ºcultivo						
63	4,28βλ	3,93βλ	4,10	5,35βλ	3,15βλ	4,25
126	5,70βλ	4,53βλ	5,11	7,63 *βλ	4,58βλ	6,10
252	7,43 βλ	6,45 βλ	6,94	8,80 *βλ	7,48 *βλ	8,14
504	11,90βλ	24,03 *βλ	17,96	14,17 *βλ	15,35 *βλ	14,76
Média	7,33 a	9,73 a		8,99 a	7,64 a	
Testemunha	10,03			1,60		
SPT	44,50			29,13		
KCl + SPT	42,95			23,78		
Solo LVd: DMSTukey= 4,15; DMSDunnett _{test.} = 11,64;DMSDunnett _{SPT} = 11,91; DMSDunnett _{SPT+KCl} = 11,64 CV (%)= 47,20						
Solo RQo: DMSTukey=1,39; DMSDunnett _{test.} = 3,89; DMSDunnett _{SPT} = 2,98;DMSDunnett _{SPT+KCl} = 3,89 CV (%)= 20,79						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha, diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*), do SPT (β), e do KCl+SPT (λ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

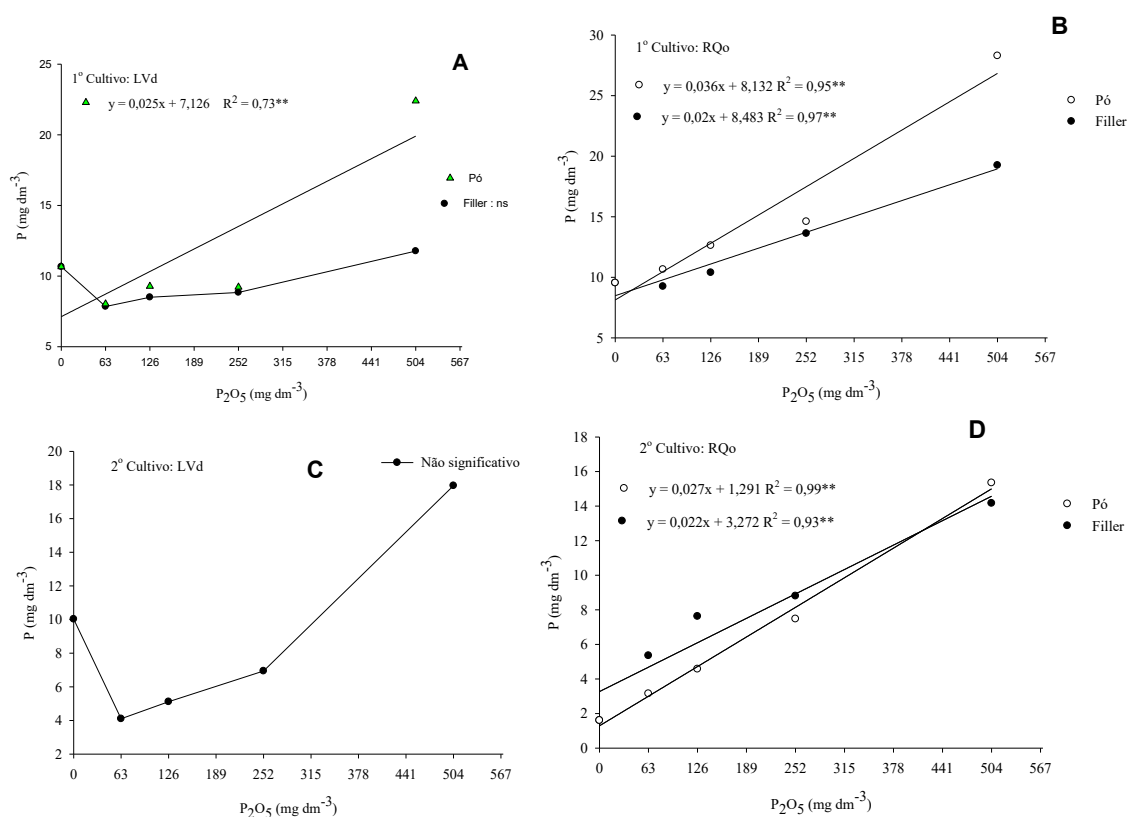


FIGURA 13: Teores de P (mg dm^{-3}) no solo, extraído por Resina, após dois cultivos consecutivos do feijão em função da aplicação de doses crescentes de P_2O_5 (mg dm^{-3}) em LVd e RQo.

** significativo a 1% de probabilidade.

4.3.4 Teor de Ca no solo

Para o teor de Ca no solo não foram observadas diferenças significativas entre as granulometrias do produto em ambos os cultivos e tipos de solo, exceto para o solo arenoso (TABELA 18). Após o primeiro cultivo, o produto na forma de filler apresentou valor de Ca no solo superior comparado à aquele aplicado na forma de pó. As partículas do kamafugito na granulometria filler possuem maior superfície específica do que na forma pó, o que favorece maior contato do produto com as partículas do solo (DUARTE, 2012), favorecendo, dessa forma, a reatividade do produto. Em relação às doses do remineralizador, não foram observadas diferenças em relação à testemunha em ambos os solos, no primeiro cultivo. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato da testemunha, assim como os demais tratamentos, receberem doses de carbonatos de cálcio e magnésio visando a correção do pH do solo. Ademais, o conteúdo de Ca no kamafugito é baixo e é uma fonte de baixa solubilidade. Para o segundo cultivo, em ambos os solos, a maior dose do produto (13336 mg dm^{-3}), nas duas granulometrias,

resultou em maiores teores de Ca no solo em relação à testemunha, evidenciando a liberação progressiva do nutriente pelo kamafeugito ao passar do tempo. Segundo Harley e Gilkes (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. Theodoro *et al.* (2006) observaram que, ao aplicar pó de rocha piroxênito/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. Portanto, os mesmos autores afirmam que foi pouco significativo o incremento destes nutrientes a partir da rocha moída nas áreas onde a presença dos elementos foi acentuada.

Em ambos os solos não se obteve ajuste significativo para os teores de Ca no solo com a aplicação de doses crescentes do kamafeugito para o primeiro cultivo. No segundo cultivo, à medida que aumentaram as doses de kamafeugito, pequeno acréscimo nos teores de Ca para ambos os tipos de solo foi obtido. Para cada 1000 mg dm⁻³ de kamafeugito aplicados, acréscimos de 0,07 e 0,09 cmol_c dm⁻³ no solo argiloso e arenoso, respectivamente, foram obtidos. A diferença entre os maiores e menores teores de Ca observada com a maior e menor dose do kamafeugito é de 0,9 cmol_c dm⁻³ no solo argiloso e 1,2 cmol_c dm⁻³ no solo arenoso (FIGURA 14). Portanto, esses acréscimos podem ser considerados pouco significativos devido à grande quantidade de kamafeugito necessária para obter esses aumentos. Esse resultado concorda com o relatado por Theodoro *et al.* (2006), os quais observaram incremento pouco significativo para os teores de Ca e Mg no solo adubado com pó de rocha, sobretudo nas áreas que já possuem níveis acentuados de calcário.

TABELA 18: Teores de Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo após dois cultivos consecutivos com feijão em LVd e RQo em função da aplicação de doses crescentes de kama fugito

Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
	----- cmol _c dm ⁻³ -----					
1667	3,22	2,93	3,08	2,53	2,60	2,56
3334	2,89	2,98	2,94	2,67	2,51	2,59
6668	3,40	3,18	3,29	2,42	2,32	2,37
13336	3,07	3,50	3,29	2,66	2,18	2,42
Média	3,15 a	3,15 a		2,57 a	2,40 b	
Testemunha	2,98			2,29		
Solo LVd: DMSTukey=0,21; DMSDunnett= 0,57; CV (%)= 9,04						
Solo RQo: DMSTukey= 0,16; DMSDunnett=0,45;CV (%)= 8,98						
2º cultivo						
1667	2,59	2,40	2,50	2,09	2,11	2,10
3334	2,82	2,78	2,80	2,09	2,29	2,19
6668	3,14	2,98	3,06	2,23	3,10*	2,66
13336	3,27*	3,56*	3,41	2,84*	3,17*	3,00
Média	2,96 a	2,93 a		2,31 a	2,67 a	
Testemunha	2,51			1,81		
Solo LVd: DMSTukey= 0,26; DMSDunnett=0,72;CV (%)= 12,34						
Solo RQo: DMSTukey=0,37; DMSDunnett= 1,02CV (%)= 20,84						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

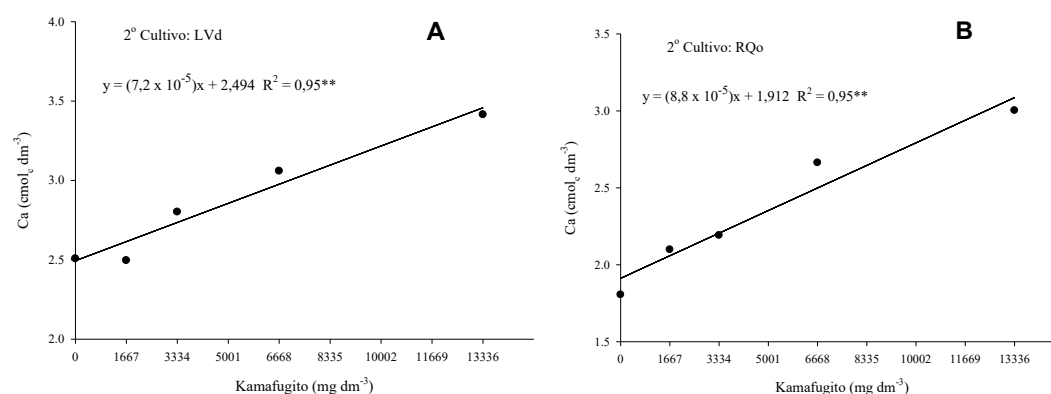


FIGURA 14: Teores de Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo após o 2º cultivo do feijão em função da aplicação de doses crescentes do kama fugito em LVd e RQo.

** significativo a 1% de probabilidade.

4.3.5 Teor de Mg no solo

Em relação aos teores de Mg no solo, o kamafeugito na granulometria pó superou a forma filler apenas após o primeiro cultivo do feijão no solo argiloso (TABELA 19). Após o segundo cultivo no solo argiloso e em ambos os cultivos no solo arenoso, não houve diferença entre as granulometrias do produto.

No primeiro cultivo, a maior dose de kamafeugito não diferiu da testemunha no solo argiloso, tampouco houve diferenças entre os tratamentos com o pó de rocha e a testemunha no solo arenoso. É importante ressaltar que todos os tratamentos receberam doses iguais de carbonato de cálcio e magnésio. Os menores teores de Mg em relação à testemunha observados no solo argiloso, após o primeiro cultivo, nos tratamentos com as menores doses de kamafeugito, podem ser consequência do maior desenvolvimento das plantas e da maior extração de Mg pelas plantas nos tratamentos com o produto, em comparação à testemunha. Machado *et al.* (2009) encontraram valores de Mg no solo superiores para o rejeito de rochas ornamentais e de pedreiras em relação ao calcário ao final de 150 dias de experimento. Os autores mencionaram que essa tendência pode variar em função das características do rejeito utilizado. Como observado neste estudo, o pó de rocha kamafeugito não influenciou nos teores de Mg no solo após dois ciclos de cultivos.

No segundo cultivo, apenas a dose 13336 mg dm^{-3} do kamafeugito na granulometria pó resultou em teores de Mg no solo superiores à testemunha no solo argiloso. No solo arenoso, independentemente da granulometria, a aplicação do kamafeugito na dose 13336 mg dm^{-3} demonstrou resultado superior em relação à testemunha.

Não houve ajuste significativo das doses do produto em relação aos teores de Mg nos solos de textura argilosa e arenosa após o primeiro cultivo. No segundo cultivo, observou-se que, com o aumento das doses do kamafeugito, houve pouco acréscimo nos teores de Mg em ambos os tipos de solo (FIGURA 15), com aumentos de $0,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg no solo para cada 1000 mg dm^{-3} de kamafeugito aplicados. Portanto, se consideram pouco significativos esses acréscimos devido à grande quantidade de kamafeugito e do maior tempo necessário para notar esse pequeno acréscimo. Mesmo assim, essa tendência explica a capacidade do kamafeugito em liberar gradativamente Mg ao solo, mesmo que em baixas quantidades. A eficácia do pó de rocha como fonte de nutrientes para o solo é questionada devido à baixa solubilidade e a necessidade da

aplicação de grandes quantidades para se alcançar respostas positivas (BOLLAND e BAKER, 2000).

TABELA 19: Teores de Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo após dois cultivos consecutivos com feijão em LVd e RQo em função da aplicação de doses crescentes de kama fugito

Dose (mg dm ⁻³)	LVd		Média	RQo		Média
	Kamafugito Filler	Kamafugito Pó		Kamafugito Filler	Kamafugito Pó	
1º cultivo						
----- cmol _c dm ⁻³ -----						
1667	1,08*	1,04*	1,06	1,84	1,95	1,90
3334	1,00*	1,13*	1,06	1,84	1,79	1,82
6668	1,17*	1,32	1,25	1,77	1,75	1,76
13336	1,20	1,46	1,33	1,86	1,66	1,76
Média	1,11 b	1,24 a		1,83 a	1,79 a	
Testemunha	1,43			1,73		
LVd: DMSTukey= 0,09; DMSDunnett= 0,25;CV (%)= 10,33 RQo: DMSTukey= 0,10; DMSDunnett= 0,28 CV (%)= 7,72						
2º cultivo						
1667	0,48	0,41	0,45	0,48	0,46	0,47
3334	0,54	0,55	0,54	0,48	0,49	0,48
6668	0,62	0,56	0,59	0,54	0,61	0,57
13336	0,64	0,74*	0,69	0,66*	0,63*	0,64
Média	0,57 a	0,56 a		0,54 a	0,55 a	
Testemunha	0,44			0,42		
LVd: DMSTukey= 0,08; DMSDunnett= 0,21;CV (%)= 18,83 RQo: DMSTukey=0,07; DMSDunnett= 0,20;CV (%)= 18,41						

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias diferentes da testemunha (*) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

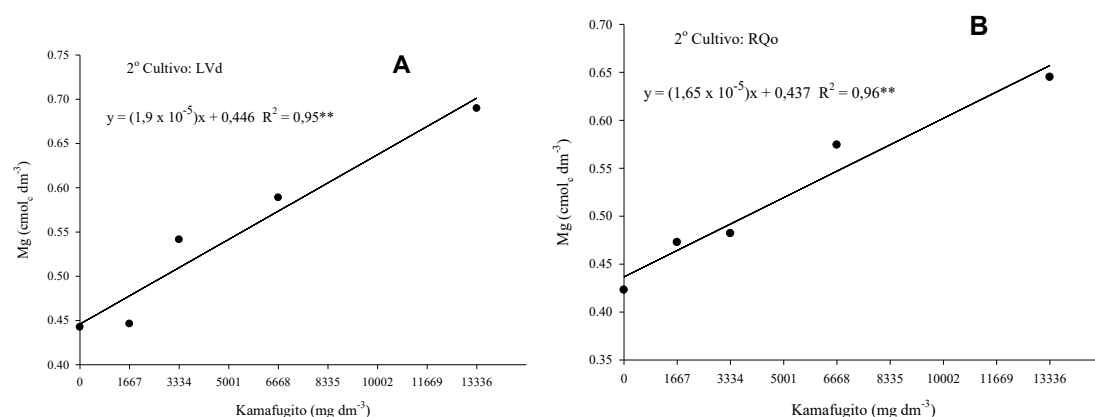


FIGURA 15: Teores de Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo após o 2º cultivo do feijão em função da aplicação de doses crescentes do kama fugito em LVd e RQo.

** significativo a 1% de probabilidade.

4.4 Percentual de potássio e fósforo recuperado

4.4.1 Potássio recuperado

No primeiro cultivo, observou-se que, do total de K aplicado ao solo argiloso, 9,8% destes foram recuperados na parte aérea das plantas do feijão quando foi aplicado o KCl. Entretanto, quando o kamafugito foi aplicado nas formas de filler e de pó, verificou-se recuperação de 5,6 e 3,7%, respectivamente. Os valores obtidos pela fonte kamafugito no primeiro cultivo foram inferiores ao KCl. Iso confirma a menor rapidez do kamafugito em disponibilizar nutrientes para as plantas. No segundo cultivo, o kamafugito passou a apresentar maiores porcentagens de K recuperado nos tecidos das plantas de feijão, com valores de K recuperado iguais a 10,7 e 8,9% quando aplicado na forma de filler e de pó, respectivamente, enquanto que o tratamento KCl apresentou apenas 4,9% de K recuperado. Diferentemente do primeiro cultivo, no segundo cultivo o kamafugito apresentou percentual de K recuperado superior em relação ao KCl. Considerando o K total recuperado, o kamafugito na forma de filler se sobressaiu, apresentando resultado superior (16,3%) à fonte KCl (14,7%). Ademais, o kamafugito na forma de pó apresentou resultado muito parecido ao KCl (FIGURA 16A).

No solo arenoso, verificou-se que desde o primeiro cultivo, o kamafugito na forma de pó apresentou resultado (11,4%) superior às fontes KCl (7,1%) e kamafugito na forma de filler (6,7%). No segundo cultivo, o kamafugito na forma de filler (5,7%) apresentou melhor resultado que os tratamentos KCl (3,4%) e kamafugito na forma de pó (3,2%). Para o total de K recuperado pelos cultivos, o kamafugito na forma de pó apresentou melhor resultado (14,6%), seguido pelo kamafugito filler (12,4%) e, por último, o KCl (10,5%) (FIGURA 16B).

Em resumo, tanto no solo argiloso como no solo arenoso, as porcentagens de K recuperado pela matéria seca das plantas de feijão em função da aplicação de KCl e kamafugito nas granulometrias de filler e de pó, confirmam que a liberação gradativa e prolongada do K pelo pó de rocha favorece seu melhor aproveitamento pelas plantas. Para doses equivalentes, sobre um período de dois cultivos, as plantas de feijão recuperaram maior quantidade de K proveniente do kamafugito em relação ao KCl. Isso significa que o K liberado pela fonte solúvel (KCl) é mais suscetível às perdas contrariamente ao kamafugito.

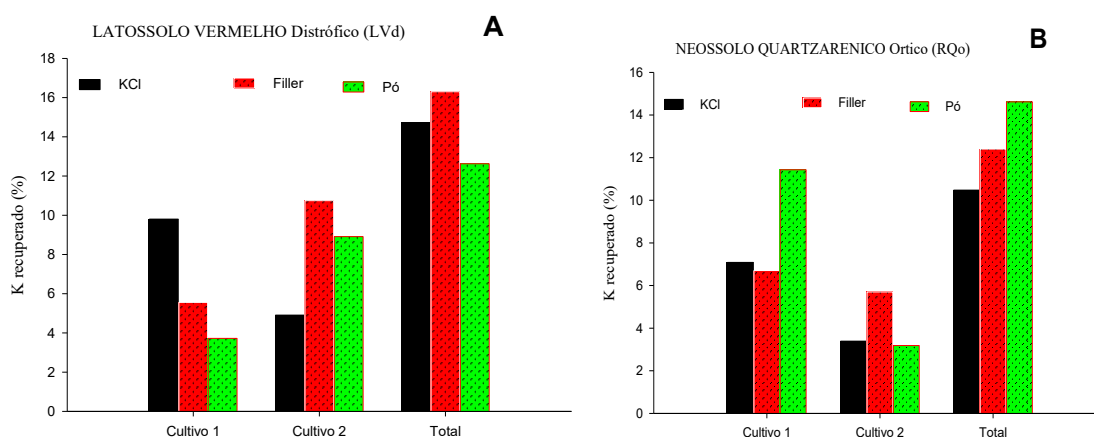


FIGURA 16: K recuperado em função da aplicação de KCl e kama fugito (Filler e Pó) em LVd e RQo, aos 102 e 144 dias após a aplicação do produto.

4.4.2 Fósforo recuperado

Verificou-se que no primeiro cultivo, em solo argiloso, o percentual de P recuperado pelas plantas foi de 2,3% quando aplicado o superfosfato triplo, enquanto que, para o kama fugito, tanto na granulometria filler como na granulometria pó, apenas 0,1% de P foi recuperado na parte aérea das plantas (FIGURA 17A). No segundo cultivo, verificou-se que 1,5%, 0,4% e 0,5% do P fornecido pelas fontes superfosfato triplo e kama fugito nas formas de filler e de pó, respectivamente, foram recuperados na matéria seca das plantas do feijão. Da mesma forma, para o total de P recuperado nos dois cultivos, o superfosfato triplo apresentou melhor resultado (3,8%) em comparação à fonte kama fugito.

No solo arenoso, quando fornecido o superfosfato triplo, o P total recuperado na matéria seca das plantas do feijão foi de 3,8% e apenas 0,5 e 0,6% foram recuperados com o uso do kama fugito na forma de filler e pó, respectivamente (FIGURA 17B). Além disso, tanto no primeiro como no segundo cultivo, o superfosfato triplo mostrou resultados superiores ao kama fugito.

Em suma, tanto no solo argiloso como no solo arenoso, o superfosfato triplo favoreceu melhor absorção do P pelas plantas em comparação com o kama fugito, por ser pouco solúvel.

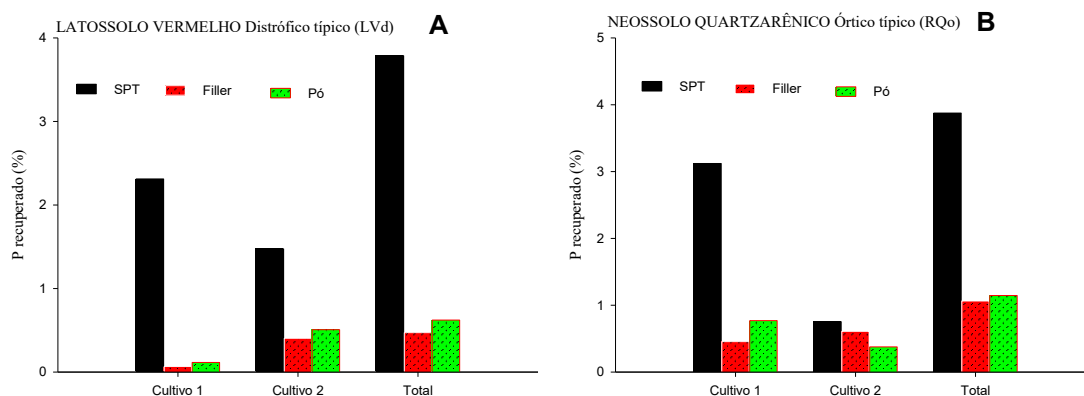


FIGURA 17: P recuperado em função da aplicação de SPT e kama fugito (Filler e Pó) em LVd e RQo, aos 102 e 144 dias após a aplicação do produto.

5 CONCLUSÕES

Em ambos os solos, o kama fugito apresentou valores de MS da parte aérea, bem como acúmulo de K e P em plantas de feijão, superiores ao KCl e inferiores ao SPT.

O kama fugito, quando aplicado nas maiores doses, promoveu a liberação de K e P para os solos, demonstrando maiores teores desses elementos quando comparado ao tratamento testemunha. Por outro lado, esses teores foram inferiores às fontes solúveis KCl e SPT.

O kama fugito demonstrou melhor eficiência agrônômica em relação à fonte KCl, para ambos os solos e independentemente da granulometria, porém, inferior aos tratamentos SPT e KCl+SPT. Também demonstrou bom efeito residual, apresentando maior eficiência agrônômica no segundo cultivo em ambos os solos.

O percentual de K total recuperado do kama fugito foi superior em relação ao KCl em ambos os solos e, por outro lado, apresentou percentual de P recuperado inferior ao SPT.

O kama fugito demonstrou bom potencial para ser utilizado como fonte de K e P complementar às fontes solúveis KCl e SPT. Em um sistema de agricultura convencional, o kama fugito não pode substituir as fontes tradicionais (KCl e SPT) em curto prazo mas, com aplicação progressiva e contínua, esse produto pode lograr substituir em longo prazo as fontes tradicionais.

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, May 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024765211123>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024765211123#citeas>. Acesso em: 24 dez. 2018.
- ADU-GYAMFI, J.; CHAUDHARY, M.; EL-SHEMY, H.; FUJITA, K.; KANAI, S.; LIGHTFOOT, D.; NGUYEN, N.; SANEOKA, H.; SUWA, R. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 30, n. 4, p. 537-544, fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0152-8>
- ALMEIDA, C. E. P.; SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. **Solos tropicais**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). 2013. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_1_2212200611535.html. Acesso em: 11 jan. 2018.
- ALMEIDA, E. de; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2010. cap. 19, p.173-181.
- ALMEIDA, J. A.; FERREIRA, E. R. N. C.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.8, n.2, p. 111-121, set. 2009. ISSN 1676-9732. Disponível em: <http://revistas.bvs-vet.org.br/rca/article/view/35184/39564>. Acesso em: 24 dez. 2018.
- ALMEIDA, J. P. F.; FREHNER, M.; HARTWIG, U. A.; LÜSCHER, A.; NÖSBERGER, J. Evidence that P deficiency induces N feedback regulation of symbiotic N₂ fixation in white clover (*Trifolium repens* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 348, p.1289-1297, Jul. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/51.348.1289>; <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.348.1289>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/23696642>. Acesso em: 24 dez. 2018.
- ALMEIDA, J.A.; AMARANTE, C. V. T. do; SCHMITT, C.; SILVA, A. da; Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.4, p.548-554, ago.-dez. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1491>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/html/1190/119024993002/>. Acesso em: 21 jul. 2018.
- ANDRADE, F. V.; MACHADO, R.V.; RIBEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. R. Rejeitos de rochas ornamentais como corretivo alternativo e a produção de matéria seca e teores de Ca e Mg na planta e no solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 23., 2009, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 763-770.
- ANDRADE, M. M. M.; STAMFORD, N. P.; SOUSA, C. A.; SILVEIRA, A. C. G. A.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. E. R. S. Fertilização mineral e biofertilizante de rochas com *Bradyrhizobium* e fungos micorrízicos arbusculares em caupi. **Revista**

Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 4, n.3, p.289-292, jul./set., 2009. doi:10.5039/agraria.v4i3a10. Disponível em: [http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path\[\]=493](http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path[]=493) . Acesso em: 21 jul. 2018.

ANGÉLICA R. S.; BAMBERG A. L.; BERGMANN M.; MARTINAZZO, R.; MARTINS E. S., SILVEIRA C. A. P. Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture. *In: WORLD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC*, 16., 2014, Rio de Janeiro. **Technological innovation for a sustainable tropical agriculture: proceedings**. Rio de Janeiro: International Scientific Centre of Fertilizers, 2014. p. 138 – 140.

ANGELO, A. C.; KNAPIK, J. G. Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (Rosaceae). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n.3, p. 427-436, set./dez., 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v37i3.9939>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/9939>. Acesso em: 24 dez. 2018.

ANTONINI, P.; CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B.; MARQUES, L. S.; RUBERTI, E. Carbonatites from southeastern Brazil: Sr-Nd-Pb systematics. *In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 4., 2002, Salvador. **Short Papers**. Salvador: CBPM, 2002. p. 520-523.

AYLING, S.; REID, R. J.; SCHACHTMAN, D. P. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 116, n. 2, p. 447-453, Feb.1998. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>.

BAKER, M. J.; BOLLAND, M. D. A. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 56, n.1, p.59-68, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009757525421> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1009757525421>. Acesso em: 21 dez. 2018

BAKKEN, A.; GAUTNEB, H.; MYHR, K.; SVEISTRUP, T. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 53- 57, Mar. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009709914578>

BALBINOT JUNIOR, A. A.; FONSECA, J. A. da; HANISCH, A. L.; SPAGNOLLO, E. Desempenho da cultura do milho após três anos da aplicação de pó de basalto ao solo, com e sem fertilização. *In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO*, 9., 2013, Campos Novos. **Resumos expandidos...** Campos Novos: UNOESC, 2013. p. 1-4. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/972038>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da Fertilidade do solo e Recomendação de fertilizantes. *In: NOVAIS, R. F. et al. (ed.). Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 13, p. 769-850.

BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, Madison v.

58, n. 5, p. 1424- 1424, Sept. 1994. DOI:
<https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050021x>

BENEDUZZI, E. B. **Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos**. 2011. 90 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/55696> . Acesso em: 24 dez. 2018.

BERNASCONI, S. M.; FROSSARD, E.; PFAHLER, V.; SPERBER, C. von; TAMBURINI, F. Oxygen isotope for unraveling phosphorus transformations in the soil-plant systems: a review. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 78, n. 1, p. 38-46, 2014. DOI:10.2136/sssaj2013.05.0186dgs

BLEKEN, M. A.; GAUTNEB, H.; GJENGEDAL, E. L.; HEIM, M.; HILLERSØY, M. H. The agrogeological potential of the Stjernøy apatite- biotite- carbonatite (Finnmark, NO) as slow- release rock fertilizer-possibilities and challenges. *In*: NORDIC GEOLOGICAL WINTER MEETING, 29.,11-13 Jan. 2010, Oslo. **Proceeding. Oslo:revisar editor, 2010.** , p. 67-68. Disponível em: <http://www.umb.no/statisk/ipm/steinmel/Abstract.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2018.

BORSARI, G. **Solo brasileiro necessita de cuidados específicos**. 2016. Disponível em: <http://ruralcentro.uol.com.br/analises/solo-brasileiro-necessita-de-cuidados-especificos-4872>. Acesso em: 11 jan. 2018.

BORTOLINI, PC.; KOSERA, C.; MARQUES, A. C.; SPADOTTO, D.; OLIVEIRA, C. D.; SCHLUCUBIER, L. Produção de feijão adzuki sob diferentes doses de pó de basalto. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, , v. 4, n. 2, p. 4227-4231, nov. 2009.

Brady, N. C. **The nature and properties of soil sciences**. 10.ed. New York: Macmillan, 1990.

BRAGA, G. N. M. As funções do potássio para as plantas. *In*: BRAGA, G. N. M. **Na Sala com Gismonti**. [S. l.], 27 abr. 2010. Disponível em: <https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2010/04/as-funcoes-do-potassio-para-as-plantas.html>. Acesso em: 20 out. 2018.

BRASIL, E. C.; SAMPAIO, L. S. Exigência nutricional do feijão-caupi. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. **Anais [...]: da agricultura de subsistência ao agronegócio**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 56-72. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59651/1/Exigencia.pdf> . Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL: Gráfico mostra como deve ser a demanda por ureia, fosfato e potássio na agricultura. **GLOBO RURAL**, [s.l.], 29 ago. 2017. Agricultura. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/08/uso-de-ureia-fosfato-e-potassio-pela-agricultura-brasileira-vai-crescer-8-milhoes-de-toneladas-em-dez-anos.html> Acesso em: 28 jan. 2018.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B. de Exigências nutricionais e adubação. *In*: ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. (eds.) **Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde**, Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. cap. 6, p. 75-84. ISBN 978-85-7035-693-2. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166168/1/500P500R-Feijao-caupi.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2018

Carmona, G.; Chien, S. H.; Habib, L.; Henao, J. Rape response to a Syrian phosphate rock and its mixture with triple superphosphate on a limed alkaline soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 30 n.4, p.449–456, 1999.Doi:10.1080/00103629909370216

CASTAMANN, A.; GOTZ, L. F.; PIOVESAN, B.; PIOVESAN, F.; Schmitz, M. F. Uso de pó de rocha na cultura do feijão. *In*: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 11., 2016, Frederico Westphalen, 2016.**Anais online [...]**: qualidade do solo & ambiente de produção. Frederico Westphalen, RS:SBCS Núcleo Regional Sul, 2016. p. 1-3. Disponível em: <http://www.sbc-nrs.org.br/xirsbc/docs/trab-4-4673-256.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2018.

CASTILHOS, Z. C.; BEZERRA, M. S.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. de V.; LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. *In*: CASTILHOS, Z. C.; FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da.**Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap. 4, p. 61 – 88.

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. (eds.) I Congresso Brasileiro de Rochagem, 2010, **Anais [...]**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. cap. 11, p. 101-109.

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 ago. 2018.

CHIEN, S. H. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application: a general review. 2001. *In*: IN TARNATIONAL MEETING **DIRECT APPLICATION OF PHOSPHATE ROCK AND RELATED TECHNOLOGY**: latest development and practical experiences, 2001, Kuala Lumpur.Proceedings [...]. Kuala Lumpur: IFDC, 2001. p. 50-62. ISBN 0-88090-138-1

CHIEN, S. H.; FRIESEN, D. K. Phosphate Rock for Direct Application.*In*: Workshop on Future Directions for Agricultural Phosphorous Research. TVA Bull. Y-224. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, Alabama, USA. p. 47-52.

CHIEN, S. H.; MIKKELSON, R.; PROCHNOW, L. Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. **Informaciones Agronómicas**, Peachtree Corners,n. 1, p.13-16 [2009]. . Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/2522CCE2CA1D9D5A8525799E0055DD0>

[D/\\$FILE/Uso%20agron%C3%B3mico%20de%20la%20roca%20fosf%C3%B3rica%20para%20aplicaci%C3%B3n%20directa.pdf](#). Acesso em: 24 dez. 2018.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. *In*: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro. **Anais [...]** São Pedro: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 613-658.

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 – 27, out./dez., 2012. ISSN 1981-8203. Disponível em: <https://gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1114/1336>. Acesso em: 24 dez 2018.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999.

COSTA, L. C. M.; MOTA, T. C.; RODRIGUES, A. C. P. S.; RODRIGUES, T. T. M. S. Avaliação de crescimento do feijão caupi (*VignaUnguiculata*) em resposta a adubação com pó de rocha silicatada e fertilizante orgânico composto. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 2016. **Anais [...]** Montes Claros: IFNMG, 2016. Disponível em: <https://www.ifnmg.edu.br/arquivos/2016/propri/sic/resumos/ffd276e6-4546-4bb9-b25f-36fa3594ee3f.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CURI, N.; FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; SILVA, I. R. da; VALE, F. R. do. Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2065-2073, out. 2000. ISSN 0100-204X. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100204X2000001000019>

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A. de; PAULETTI, V.; RONZELLI-JR, P.; SGUÁRIO-JR, J.C.; SOARES-KOEHLER, H. Doses e formas de aplicação de potássio na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.7, n.1-2, p.9-14, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v7i1.7265>

DUARTE, I. N. **Verdete calcinado: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira**. 2012.84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009 ISBN 978-85-7383-430-7.

FAO. **Aumenta la degradación del suelo: un cuarto de la población mundial está afectada, según un nuevo estudio**. FAO: Sala de prensa, 2008. Disponível em: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>. Acesso em: 20 ago. 2018.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

FOLEY, S. F.; GREEN, D. H.; TOSCANI, L.; VENTURELLI, G. 1987. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p.81-134, abr. 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(87\)90001-8](https://doi.org/10.1016/0012-8252(87)90001-8)

FONSECA, D. S.; SOUZA, A. E. de. Fosfato. In: **AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (Brasil). Economia mineral do Brasil, Brasília, DF: DNPM, 2009. cap. 7, p. 546-568.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/outras-publicacoes>. Acesso em: 25 dez. 2018.

FYFE, W.S.; KROMBERG, B. I.; LEONARDOS, O. H. Rochagem: método de aumento de fertilidades em solos lixiviados e arenosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Anais [...]** Ouro Preto: SBG, 1976. cap. 11, p. 137-145.

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> .

GONÇALVES, A. O.; HARPER, J.; LEONARDOS, O.; TCHOUANKOUE, J. P.; THEODORO, S. H. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 6, p.1390-1407, 2012.

GUELFÍ-SILVA, D. R. **Caracterização e avaliação agronômica de rochas silicáticas com potencial de uso como fontes alternativas de nutrientes e corretivos da acidez do solo.** 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

HARTMAN, M.; SILFVERBERG, K. Effects of different phosphorus fertilisers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. **Silva Fennica**, Helsinki, v.33, n.3: 187-206, dez.1999. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.656>. Disponível em: <https://silvafennica.fi/article/656>. Acesso em: 20 ago. 2018.

HIRSCH, R. E.; LEWIS, B. D.; SPALDING, E. P; SUSSMAN, M. R. A role for the AKT1 potassium channel in plant nutrition. **Science**, [S. l.], v. 280, n. 5365, p. 918-921, May, 1998. DOI: 10.1126/science.280.5365.918. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/280/5365/918.full> . Acesso em: 24 dez. 2018.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 34 p. (Boletim Técnico, 2), 2004.

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

LANA, M. C.; NEVES, J. C. L. Capacidade de suprimento de potássio em solos sob reflorestamento com eucalipto do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.18, n.2, p.115-122, maio/ago. 1994. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=H4uaAAAAIAAJ&pg=PA115&lpg=PA115&dq=Capacidade+de+suprimento+de+pot%C3%A1ssio+em+solos+sob+reflorestamento+c>

om+eucalipto+do+estado+de+S%C3%A3o+Paulo.+Revista+%C3%81rvore&source=bl&ots=czO5aG0kOg&sig=f9cW0LptutXtBVio4jBuK_jvuyo&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwieiqfb1LrfAhVEG5AKHUdVBgAQ6AEwAHoECAMQAQ#v=onepage&q=Capacidade%20de%20suprimento%20de%20pot%C3%A1ssio%20em%20solos%20sob%20reflorestamento%20com%20eucalipto%20do%20estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo.%20Revista%20%C3%81rvore&f=false. Acesso em: 24 dez. 2018.

LAPIDO-LOUREIRO F. E. de V.; MELAMED, R. **O fósforo na agricultura brasileira: uma abordagem mínero-metalúrgica**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. (Série Estudos e Documentos, n. 67). ISSN: 0103-6319

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. de V.; NASCIMENTO, M. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. (Série Estudos e Documentos, n. 61). ISSN: 0103-6319/ ISBN: 85-7227-203-8.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. de V.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. In: FIGUEIREDO NETO, E. J.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MELAMED, R. (ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. cap. 2, p. 81-123.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. de V.; NASCIMENTO, M. O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: FIGUEIREDO NETO, E. J.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MELAMED, R. (ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. cap. 9, p. 305-329.

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. cap. 5, p. 149 - 165.

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. [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: 24 dez. 2018.

LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; ROCHA, E. L.; THEODORO, S. H. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Revista Espaço & Geografia**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006. ISSN: 1516-9375. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/59>. Acesso em: 20 ago. 2018.

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, 2006. v.78, n.4, p.715 – 720. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Fertilizing tropical soils for sustainable development. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON TROPICAL SOILS*, 1999, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: [s.n.], 1999. p.143–153.

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S.H. Rochagem: uma questão de soberania nacional. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 13.; SIMPÓSIO GEOQUÍMICADOS PAÍSES DO MECOSUL, 3., 2011, Gramado. **Anais [...]** Gramado: CPGQ/UFRGS, 2011. p.337-340. DOI: 10.13140/2.1.3284.4169

LOBO, V. **O mercado e o desafio da indústria de fertilizantes no Brasil**. Brasil:Bunge Fertilizantes, 2008. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00001762.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

MALAVOLTA, E.; OLIVEIRA, S. A. de; VITTI, G. C. **Avaliação do estado nutricional de plantas, princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

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-no-condicionamento-do-solo/>. Acesso em: 29 jan. 2018.

MARTINS, E. S.; MATOS, M. S. F.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, Á. V. Agro minerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para agricultura. *In: LUZ, B. A.; LINS, F. Rochas e minerais industriais: usos e especificações*. 2.ed. Rio de Janeiro:CETEM/MCT, 2008. cap. 9, p. 205-223.

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. 170f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2875>. Acesso em: 24 dez. 2018.

MENZIES, N. **The Science of phosphorus nutrition**: forms in the soil, plant uptake, and plant response. School of Land, Crop and Food Science. St Lucia: The University of Queensland, 2009. Disponível em: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2009/02/the-science-of-phosphorus-nutrition-forms-in-the-soil-plant-uptake-and-plant-response>. Acesso em: 25 dez. 2018.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração. A experiência brasileira. *In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA*, 1982, Londrina. **Anais[...]** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato/ Instituto Internacional da Potassa, 1982. p. 289-303.

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

NERY, C. Consumo de adubos cresce duas vezes média mundial. **Valor Econômico**, Rio de Janeiro, 26 set. 2011. Disponível em: <https://www.valor.com.br/impreso/fertilizantes/consumo-de-adubos-cresce-duas-vezes-media-mundial>. Acesso em: 24 dez. 2018.

NETTO, A. J. Bem nutrido o feijão produz muito mais. **Revista Cultivar: grandes culturas**. Pelotas, ano 1, n.7, p. 26-27, ago. 1999. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/bem-nutrido-o-feijao-produz-muito-mais>. Acesso em: 25 ago. 2017.

ØGAARD, A. F.; KROGSTAD, T. Release of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 168, n. 1, p. 80-88, Feb. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200421454>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jpln.200421454> . Acesso em: 24 dez. 2018.

OLIVEIRA, L. A. M. de. Potássio. In: AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (Brasil). **Economia Mineral do Brasil**, Brasília, DF: DNPM, 2009. cap7. p. 569-576. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/outras-publicacoes>. Acesso em: 25 dez. 2018.

OLIVEIRA, S. A. de; PAÇÔ, L. B. Eficiência agronômica de fosfatos de rocha itafós, 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. cap. 10, p. 93-100.

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

PÁDUA, E. J. de. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76755/1/Alvaro-Dissertacao-Eduane.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2018.

PINHEIRO, S. **Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos**. Canoas: Salles Editora, 2011. Disponível em: http://fld.com.br/projetopampa/modules/blog/datafiles/FILE_1EAF04-9AC0F7-5E3BD1-B9DF4A-B81FBD-67069B.pdf. Acesso em: 27 jan. 2018.

ROCHAGEM: uma alternativa para adubar o solo. Prosa Rural: o programa de rádio da Embrapa Brasília, DF, 19 jul. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/prosa-rural/busca-de-noticias/-/noticia/2320477/prosa-rural---rochagem-uma-alternativa-para-adubar-o-solo>. Acesso em: 27 jan. 2018.

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 Agronômico & Fundação IAC, 1997.. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V. *et al.* Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I. Respostas da soja e do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais** [...] Recife: UFRPE/SBCS, 2005. 1CD-rom.

DESAFIO da indústria brasileira de fertilizantes. In: RIBEIRO FILHO, R. **Agro10 Show**. [S. l.], 8 ago. 2015. Disponível em:

<http://agrodezshow.blogspot.com.br/2015/08/desafio-da-industria-brasileira.html>. Acesso em: 28 jan. 2018.

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-rocha-ou-rochagem>. Acesso em: 28 jan. 2018.

RODRIGUES, A. F. S. Agronegócio e mineral negócio: relações de dependência e sustentabilidade. In: _____. **Informe mineral: desenvolvimento e economia mineral**. Brasília, DF: DNPM, 2009. p. 28-47.

RODRIGUES, V. W. B. **Reatividade e eficiência agronômica do hydropotássio e pó de rochasienítica ultrapotássica como fontes de silício e potássio para as plantas**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20689>. Acesso em: 20 ago. 2018.

SANTOS, D.da S. **Rochagem como alternativa para o fornecimento de potássio para as culturas**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12180/1/Douglas%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

SCHEIBE, L. F. **Geologia e petrologia do maciço alcalino de Lages, SC**. 1986. 224 p. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986. Doi: 10.11606/T.44.2016.tde-16022016-131224. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-16022016-131224/en.php>. Acesso em: 24 dez. 2018.

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**. 2017. 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 dez. 2018.

SILVA, C. R. da; SOUZA, Z. M. de. **Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas**. 1998. Trabalho apresentado na Disciplina de Problemas de Fertilidade dos Solos (Graduação) - Faculdade de Engenharia Ilha Solteira Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 1998. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>. Acesso em: 11 jan. 2018.

SILWAL, K. **Use of stjernøy's rock powder as a slow releasing phosphorus and potassium fertilizer in white clover**. 2013. 76f. Thesis (Master in Plant Science) - Department of Plant and Environmental Sciences, Norwegian University of Life Sciences, Norway, 2013.

STRAATEN, P. van **Agrogeology: the use of rock for crops**. Ontario: Enviroquest 2007. ISBN: 978-0-9680123-5-2

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

TÁVORA, J. E. M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. *In*: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. cap. 2, p. 37-50. ISBN: 1000208897401.

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, p. 715 720, 2006.

THEODORO, S. M. de C. H. **A fertilização da terra pela terra**: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 2000. 221 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2000. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20881/1/2000_SuziDeCordovaHuffTheodoro.pdf.pdf. Acesso em: 24 dez. 2018.

VAN RAY, B.; VAN DIEST, A. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v.51 n.4, p.77–589, 1979. doi:10.1007/bf02277578