

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUÍS GUSTAVO NASCIMENTO GUERRA

DISPONIBILIDADE DE K E P A PARTIR DE PÓ DE KAMAFUGITO EM SOLOS
DE DIFERENTES CLASSES TEXTURAIIS

Uberlândia

2023

LUÍS GUSTAVO NASCIMENTO GUERRA

DISPONIBILIDADE DE K E P A PARTIR DE PÓ DE KAMAFUGITO EM SOLOS
DE DIFERENTES CLASSES TEXTURAIIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Araújo Hulmann Batista

Uberlândia

2023

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

G934 Guerra, Luís Gustavo Nascimento, 2000-
2023 DISPONIBILIDADE DE K E P A PARTIR DE PÓ DE
KAMAFUGITOEM SOLOS DE DIFERENTES CLASSES
TEXTURAIIS [recurso
eletrônico] / Luís Gustavo Nascimento Guerra. - 2023.

Orientadora: Araújo Hulmann Batista.
Coorientadora: Gabriella Queiroz de
Almeida. Trabalho de Conclusão de Curso
(graduação) -

Universidade Federal de Uberlândia, Graduação
em Agronomia.

Modo de acesso:
Internet. Inclui
bibliografia.

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o
AACR2: Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

LUÍS GUSTAVO NASCIMENTO GUERRA

DISPONIBILIDADE DE K E P A PARTIR DE PÓ DE KAMAFUGITO EM SOLOS
DE DIFERENTES CLASSES TEXTURAIIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Uberlândia, 2022

Banca Examinadora:

Araína Hulmann Batista – Dr^a. (UFU)

Wedisson Oliveira Santos – PhD (UFU)

Igor Forigo Beloti – Dr. (UFU)

RESUMO

A viabilização de fontes alternativas de nutrientes como potássio (K) e fósforo (P) são importantes para os cultivos agrícolas do Brasil. Neste sentido, o uso de pós de rocha como fonte de nutrientes pode ser uma alternativa às produções agrícolas nacionais. O objetivo do trabalho foi avaliar a liberação de K e P a partir de pó de kamafigito em solos de classes texturais contrastantes presentes no cerrado brasileiro (Latossolo Vermelho Ácrico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa). No experimento, foram testadas quatro doses de K-K₂O a partir do pó de kamafigito, que foi previamente moído com granulometria menor que 0,3 mm. Foram consideradas as seguintes doses de K-K₂O a partir do pó da rocha: 0, 5, 10 e 15 g/dm³. A unidade experimental foi constituída por 100 g de terra fina seca ao ar, sendo os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2x4x2 os quais foram distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. Após 60 e 120 dias de incubação do pó de rocha, os solos foram submetidos à extração dos teores trocáveis de K (acetato de amônio) e, disponíveis de P (Mehlich 1). O pó de rocha foi avaliado por mapeamento químico de superfície e composição mineralógica. Os teores de K, P, Ca, Mg, Al (trocáveis), acidez ativa e potencial foram submetidos à análise de variância e teste de médias no software R. Quanto à disponibilidade de nutrientes, o pó de kamafigito apresentou liberação para as variáveis K, Ca, Mg, P, H+Al e acidez ativa, com neutralização do Al. Ambos os solos em suas respectivas épocas de incubação apresentaram interação significativa para os métodos de extração de K – Mehlich 1 e acetato de amônio, com os maiores teores sendo encontrados para o primeiro extrator. O uso do kamafigito como fonte de nutrientes parece ser inviável, devido à pouca liberação em relação à tonelada de produto aplicado.

.

Palavras-chave: Pó de rocha, adubação, mineralogia, DRX, Microscópio Eletrônico de Varredura.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.2	OBJETIVO GERAL	10
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
2	MATERIAL E MÉTODOS	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4	CONCLUSÕES	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
6	REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

O entendimento de que nutrientes, como fósforo (P) e potássio (K), ocorrem em reservas mundiais limitadas, tem levado às discussões acerca do uso de fontes alternativas. Devido a tamanho potencial produtivo e constante expansão da agricultura brasileira, sendo grande produtor e exportador de alimentos, o país apresenta uma alta demanda destes insumos (FAROUTINE, 2018). A urgente necessidade em reduzir a dependência por fertilizantes importados no país, tem motivado estudos para viabilizar o uso de resíduos da mineração como fontes de nutrientes às plantas, passando-os de passivos ambientais para alternativas que auxiliem em práticas de manejo conservacionista. Entretanto, a utilização de pós de rocha como alternativa para suprir esta demanda, ainda necessita de maior base científica e respostas mais exatas para a recomendação do uso para os produtores rurais.

Marcos como o plano o plano nacional de resíduos sólidos (CIVIL, 2010), a criação da IN nº 05/2016 (BRASIL 2016) que regulamenta os Remineralizadores de solo, e mais recentemente o Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (BRASIL, 2021) possibilitaram a expansão do uso de pós de rochas no Brasil como fontes de nutrientes ou condicionadores de solo, porém percebe-se certo descompasso com a pobreza em pesquisas que atestem a eficiência de uso desses materiais. Tamanha geodiversidade brasileira permite a exploração de rochas como possíveis alternativas de estudo, alcançando vários biomas, tipos de rochas, solos, permitindo assim podendo promover a reutilização de rejeitos de pedreiras e mineradoras (DE PÁDUA, 2012).

Cerca de 96% do K consumido no Brasil são importados, em grande parte de países como Canadá, Rússia, Bielorrússia, Alemanha e Canadá. A fonte mais utilizada de K na agricultura, portanto também a mais importada, é o cloreto de potássio (KCl). Segundo o Boletim Logístico (2021) até o mês de julho de 2021 houve o consumo de 60% do total de fertilizantes importados no ano de 2020, que somaram quase 18 Mt. Considerando a fragilidade do mercado - como exemplo é possível citar o que ocorreu com a economia mundial frente à pandemia do Covid 19 no ano de 2020, com incertezas geopolíticas e econômicas - é fundamental que os produtores brasileiros possam contar com alternativas nacionais de fertilizantes, que sejam viáveis do ponto de vista econômico, sem perdas em qualidade e produtividade, especialmente para o fornecimento dos nutrientes mais consumidos.

A necessidade de K e P pelas culturas e sua dinâmica no sistema solo-planta são bem distintas entre si. Porém, algo é comum a ambos nos solos brasileiros – sua baixa disponibilidade. Solos de regiões tropicais, como os de Cerrado, apesar de ótimas características físicas para o cultivo, possuem, em geral baixas reservas de nutrientes, uma vez que os minerais primários presentes na fração areia são predominantemente quartzo, feldspato potássico e muscovita, todos com baixa solubilidade e baixos teores disponíveis de nutrientes (NOVAIS *et al.*, 2007). Considerando as frações finas como as argilas, há o predomínio de argilominerais 1:1 e óxidos de Fe e Al. Isso faz com que a capacidade de troca de cátions (CTC) seja muito baixa, além da dinâmica de nutrientes como o P favorecer com que seja fixado pelas argilas, devido à afinidade físico-química que este possui com minerais como gibbsita, hematita e goethita (BINDRABAN; DIMKPA; PANDEY, 2020). Ou seja, são necessárias elevadas doses de fertilizantes fosfatados para suprir as necessidades das culturas.

O K no solo pode ser encontrado em quatro formas, sendo elas: i. trocável; ii. não trocável; iii. na solução; iv. estrutural. As formas disponíveis às plantas, no curto prazo, são o K trocável e em solução, sendo o primeiro adsorvido eletrostaticamente nas cargas elétricas negativas de superfície das frações coloidais. Já o K não trocável ou estrutural está presente na estrutura cristalina de minerais 2:1 e outros minerais silicatados primários, o que por si torna o nutriente indisponível em curto prazo. Esta forma de K está presente em solos mais jovens cujo material de origem é composto por minerais como biotita, que possuem o nutriente como parte de sua estrutura cristalina.

O baixo conteúdo de P disponível e a fixação desse elemento, principalmente em solos onde há predomínio de minerais oxídicos secundários, faz com que a adubação seja realizada com doses muito altas de fertilizantes fosfatados (SOUSA; LOBATO, 2002). A eficiência dos adubos fosfatados pode ser afetada também por determinadas espécies vegetais, fontes do nutriente e modo de aplicação (FRANDOLOSO, 2010). As fontes solúveis de P apresentam baixo efeito residual nos solos, que aliado à adsorção específica que ocorre com a fase sólida, diminuiu a eficiência da adubação. Considerados como os constituintes da fração argila mais efetivos na adsorção de P, os oxi-hidróxidos de Fe e de Al apresentam uma grande diversidade de características, como faces expostas, tamanho de partículas, grau de substituição isomórfica, entre outros (RESENDE *et al.*, 2005).

A disponibilidade dos dois nutrientes discutidos acima depende não só do fator intensidade (que implica o teor destes em solução) e fator quantidade (que são os elementos em suas formas trocáveis, ligado às cargas elétricas da superfície reativa dos colóides), mas também da relação entre esses fatores, determinando a capacidade da fase sólida de manter a sua concentração adequada na solução do solo (SILVA *et al.*, 2000).

Outro fator importante a ser considerado na disponibilidade de P e K é a composição mineralógica e grau de desenvolvimento dos solos. Muitos solos jovens e moderadamente intemperizados, a depender do material de origem, contam com a ocorrência dos nutrientes em minerais primários mais facilmente intemperizáveis que são lentamente disponibilizados, uma vez que há o equilíbrio entre a fase sólida e a solução. Porém, em solos mais desenvolvidos, parte dos elementos se encontram em baixas quantidades e como mencionado, não há reserva nas frações minerais mais grosseiras como areia e silte (MOREIRA *et al.*, 2006).

Assim, considerando o contexto de baixa disponibilidade de nutrientes e elevada dependência dos produtores rurais aos insumos importados, o uso de remineralizadores pode levar a uma grande contribuição em diversos aspectos nas áreas agrícolas. Como o Brasil detém uma grande diversidade de rochas, de composição mineralógica e química distintas, é importante que estes materiais sejam estudados para a determinação de doses e formas de aplicação nos cultivos, algo que atualmente, permanece muito incipiente e impossibilita sua recomendação e uso.

Segundo Ballesterro *et al.* (1996), as rochas em que se encontram minerais como micas, biotitas, feldspatos entre outros minerais são pouco utilizadas devido sua baixa eficiência agrônômica, pois, mesmo após o processo de moagem e peneiramento, apresentam baixa disponibilidade dos nutrientes. Com o passar do tempo os minerais presentes nas rochas sofrem alterações químicas em suas estruturas cristalinas e liberam certas quantidades de nutrientes, sendo um processo lento quando comparado com as fontes solúveis de fertilizantes (THEODORO *et al.*, 2012). Os remineralizadores podem reduzir os custos de produção (THEODORO *et al.* 2010), podem reequilibrar o pH do solo (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009), apresentam maior efeito residual, em contrapartida, podem apresentar risco de contaminação do solo e de corpos hídricos devido a presença de elementos tóxicos como metais pesados dentre outros fatores (THEODORO; LEONARDOS, 2011). Como desvantagens, de acordo com Osterroht (2003), podem apresentar resultados inconsistentes, pequena liberação de nutrientes, e

dependendo de sua composição, elementos não desejados podem ser disponibilizados no solo como, por exemplo, o alumínio e metais pesados (MARTINS, 2016; FAROUTINE, 2018).

Dentre as fontes alternativas que podem fornecer tanto P, quanto K para as plantas, está o kamafugito. O kamafugito integra um grupo de rochas vulcânicas, máficas e ultramáficas que são subsaturadas em silício (Si), podendo ser encontradas no Brasil na província do Alto Paranaíba, no Centro-Oeste de Minas Gerais e na Província Alcalina de Goiás. O excesso de K_2O em relação ao Na_2O condiciona a natureza ultrapotássica dessas rochas, o que permite a cristalização de minerais ricos em K, tais como, leucita, kalsilita e flogopita (MELO, 2012). Formadas predominantemente em áreas distensivas, as rochas kamafugíticas apresentam baixo conteúdo de SiO_2 , Na_2O e Al_2O_3 e determinado teor de CaO , K_2O e P_2O_5 (FOLEY *et al.*, 1987). Em um estudo feito nos platôs dominados por rochas epiclásticas e vulcânicas do Grupo Mata da Corda (THEODORO, 2000) destacam-se os altos valores de K e P, quando colocados em comparação com solos pouco férteis do país, sendo, os solos que derivam dessas rochas classificados como os mais férteis do Brasil.

De acordo com Martins *et al.* (2014), os kamafugitos, quando intemperizados, disponibilizam 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 tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e outros nutrientes, que são adsorvidos na superfície reativa destes colóides.

Ligados à CTC e CTA das argilas e da matéria orgânica, o K e o P se apresentam no solo como sendo os macronutrientes mais escassos para as plantas superiores, fazendo assim com que o seu fornecimento via fertilização seja de extrema importância. Contudo, visto que o Brasil importa cerca de 95% dos fertilizantes utilizados na agricultura, os insumos acabam tendo um elevado custo, sendo considerado um problema para os produtores rurais.

A utilização de tratamentos que atuem diretamente nas características de distintos tipos de solos, simulando condições encontradas por agricultores ao longo do território nacional são importantes para avaliar a eficiência agrônômica do uso de remineralizadores de solo como fertilizantes. Pesquisas relacionadas a esse tema, apesar de incentivadas, tanto pela diminuição dos impactos ambientais, devido à necessidade de

dar finalidade aos resíduos gerados com a mineração, como para servir como fonte de nutrientes para os cultivos agrícolas, ainda estão incipientes. Portanto, diferentes doses de kamafugito moído aplicado a duas classes de solos distintas, poderão apresentar resultados consistentes para auxiliar na formulação de protocolos de recomendação de adubação para produtores rurais que desejam ter alternativas de fontes de K e P para aplicar em seus cultivos.

Portanto, considerando o exposto, o objetivo com o presente estudo foi avaliar o teor disponível de K e P em solos de duas diferentes classes a partir do uso de pó de kamafugito da região de Patos de Minas, MG.

1.2 Objetivo geral

Analisar o uso de pó de kamafugito no incremento de K e P disponíveis nos solos e compreender sua dinâmica de liberação a partir de solos com características contrastantes.

1.3 Objetivos específicos

- Conhecer a dinâmica de liberação de K e P a partir de pó de kamafugito em distintos solos do bioma cerrado ao longo do tempo com dois diferentes extratores – Mehlich 1 e acetato de amônio.
- Avaliar o teor de K e P disponível no solo como resultado da aplicação de pó de kamafugito aos 60 e 120 dias após a incubação dos solos.
- Avaliar a composição mineralógica e química do kamafugito a partir de análise de DRX e microscopia eletrônica de varredura com dispersão de energia (MEV-EDS).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento Experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Pedologia (LAPED) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em delineamento inteiramente ao acaso com duas classes de solos, quatro doses de kamafugito e quatro repetições, em um arranjo fatorial 2x4x2, totalizando 32 unidades experimentais para cada período de incubação. Os dois solos utilizados foram coletadas na camada de 0 – 20 cm na região de Uberlândia, MG: I) Latossolo Vermelho Ácrico; II) Neossolo Quartzarênico. O período de incubação das amostras de solos com o pó de kamafugito foi de 60 e 120 dias.

As amostras de solos foram analisadas no Laboratório de Análises de Solo e Tecido Vegetal da UFU (LABAS) para a caracterização química de rotina dos solos (Embrapa 2011). As amostras de solos foram secas ao ar, peneiradas em malha 2 mm e submetidas à incubação com pó de kamafugito (granulometria menor que 0,3 mm) em sacos plásticos. A unidade experimental foi composta por 100 g de terra fina seca ao ar, cujas doses de kamafugito foram definidas a partir do teor total de K-K₂O no pó de rocha e dose de referência do elemento – 100% = 200 kg/ha: 0, 5, 10 e 15 g/dm³, com quatro repetições. Considerando o teor de K-K₂O em uma t de kamafugito (Tabela 1), foram estabelecidas as doses de pó para fornecimento de K nas concentrações requeridas nos tratamentos (Tabela 2).

A disponibilidade dos nutrientes no solo advindas de remineralizadores possui dinâmica de liberação lenta, uma vez que depende do intemperismo dos minerais (MENEZES, 2016). Consequentemente, o presente trabalho optou por doses elevadas (acima de 100 t ha⁻¹), garantindo assim a liberação de valores maiores dos nutrientes, possibilitando, desta forma, as avaliações.

Tabela 1 – Garantias mínimas do pó de Kamafugito.

Ensaio	Concentração (% m/m)
Nitrogênio	0,17%
Fósforo Total	5,37%
Fósforo sol. Ácido Cítrico 2%	2,24%
Fósforo sol. CNA + Água	2,08%
Fósforo sol. Água	0%
Potássio (HNO ₃ + HClO ₄)	2,22%
Potássio (Ácido Cítrico 2% rel. 1:500)	1,86%
Potássio (Ácido Cítrico 2% rel. 1:100)	0,08%
Potássio (CNA) 1:100	0,07%
Potássio (sol. Água)	0,19%
Enxofre	0,07%

Análise realizada pelo laboratório IBRA.

Tabela 2. Dose de kamafugito para fornecimento das doses de K₂O dos quatro tratamentos do experimento.

Tratamento ¹	K ₂ O (g.dm ⁻³)	Dose de kamafugito (t ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	5	450
T3	10	900
T4	15	1350

1. T1: Controle; T2: 5 g.dm⁻³K₂O; T3: 10 g.dm⁻³K₂O; T4: 15 g.dm⁻³.

2.2 Análises mineralógicas

O kamafugito foi moído com pistilo em gral de ágata e passado em peneira de malha de 0,2 mm. A amostra foi disposta em placa perfurada de alumínio (método em pó) para identificação da composição mineralógica por difratometria de raios X. O difratograma foi obtido em difratômetro com goniômetro vertical Philips com feixes de CuK α a 50kV e 20 mA, na velocidade de 1°. 2 θ min⁻¹. A amplitude de varredura foi de 5 a 50°. 2 θ . Para verificar a morfologia e composição química dos minerais, a amostra foi analisada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) com detector de raios-X por dispersão de energia (EDS).

2.3 Análises Químicas dos Solos

Após a incubação de 60 e 120 dias foi avaliado o teor de potássio disponível com dois extratores: Mehlich 1 (EMBRAPA, 2011) e acetato de amônio (METSON, 1956). A dosagem de K foi realizada por espectrofotometria de emissão de chamas. A extração de P disponível foi realizada utilizando-se o extrator Mehlich 1 e sua determinação por espectrofotometria de absorção molecular. Foram determinados os teores trocáveis de Ca, Mg (espectrofotometria de absorção atômica) e Al (titulometria ácido-base) extraídos por KCl 1mol.L⁻¹, acidez ativa (pH em água) e H+Al por solução tampão SMP.

2.4 Análise estatística

Os resultados dos teores de nutrientes dos solos, obtidos em cada unidade experimental, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posteriormente ao teste de Tukey ($\alpha=0,05$). As análises foram realizadas no software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises Químicas

No presente experimento, a partir do uso pó de kama fugito em incubação com Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico por 60 e 120 dias, foi possível constatar a dinâmica de liberação de K e P, conforme descrição e discussão dos resultados a seguir.

- **Incubação por 60 dias**

Os teores de Ca trocável, K e P disponíveis estão apresentados na Tabela 3. Verificou-se que não houve interação significativa entre os dois solos - Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ), demonstrando que o comportamento do pó de rocha foi similar nestas duas condições ambientais.

Tabela 3 – Média (n=8) dos teores disponíveis de K, Ca e P após 60 dias de incubação com pó de kama fugito em LVw e RQ

Tratamento ¹	K ²	Ca ³	P ⁴
	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³
T1	13,95 d	104 d	2,16 b
T2	80,96 c	230 c	75,19 a
T3	136,96 b	348 b	89,55 a
T4	157,83 a	450 a	89,82 a
C.V (%)	7,65%	11,88%	24,5%

Médias seguidas por letras diferentes na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; 1. T1: Controle; T2: 5 g.dm⁻³ K₂O; T3: 10 g.dm⁻³ K₂O; T4: 15 g.dm⁻³ K₂O. 2.K extraído por Acetato de Amônio; 3. Cálcio extraído por KCl 1 mol.L⁻¹; 5. Fósforo extraído por Mehlich 1.

Em relação às análises de K (extração por Mehlich 1), Mg, H + Al, acidez ativa e Al trocável (Tabela 4), houve interação estatística significativa para os ambientes testados (LVw e RQ), apresentando valores diferentes quando comparadas as doses em duas classes de solos.

Tabela 4 – Média dos teores disponíveis de K, Mg, H+Al, Acidez Ativa e Al após 60 dias de incubação com pó de kamafugito ao Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Trat ¹	K ²		Mg ³		H+Al		pH em água		Al ⁴	
	mg.dm ⁻³		mg.dm ⁻³						cmol _c .dm ⁻³	
	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw
T1	13,57 d	16 d	6,1 d	0,41 d	5,85 a	6,77 a	3,79 d	5,20 c	0,58 a	0,04 a
T2	93,05 c	74,02 c	26,7 c	0,25 c	4,87 b	5,30 b	5,58 c	5,86 b	0,00 b	0,00 b
T3	140,27 b	116,40 b	83,8b	0,64 b	4,47 b	5,20 b	5,92 b	6,17 a	0,00 b	0,00 b
T4	179,27 a	159,77 a	120,3 a	1,01 a	4,25 c	4,90 b	6,22 a	6,12 ab	0,00 b	0,00 b
C.V (%)	7,65%		11,67%		5,75%		2,25%		18,29%	

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ¹T1: Testemunha; T2: 5g.dm⁻³ K₂O; T3: 10g.dm⁻³ K₂O; T4: 15g.dm⁻³ K₂O; ²: K extraído por Mehlich 1; ³: Magnésio extraído por KCl 1 mol.L⁻¹; ⁴: Alumínio extraído por KCl 1mol.L⁻¹.

Os resultados observados nas tabelas 3 e 4 apontam aumento conforme as doses aplicadas para K, P, Ca, Mg e H+Al. É importante considerar ainda, que conforme aumento das doses, houve aumento na capacidade de trocar cátions total dos solos e neutralização do Al. Segundo Figueiredo et al. (2018), a solubilidade dos minerais presentes no kamafugito estudado (valores que podem atingir 50% para P₂O₅ em ácido cítrico e 50 % pra K₂O) contribuíram para estes aumentos. Entretanto, vale considerar que mesmo ocorrendo elevação nos teores de nutrientes nos solos, com os valores médios de P₂O₅ presentes em 1 t de pó de kamafugito, seria possível adicionar ao solo apenas 25 kg/ha. Os valores são insuficientes quando se trata da demanda total das culturas agrícolas. Todavia, a possibilidade de complementar a adubação realizada com fertilizantes solúveis não é descartada, pois poderia reduzir os custos da produção, diminuindo a dependência por insumos oriundos de outros países.

Em um estudo feito sobre a eficiência agrônômica do kamafugito, as doses maiores apresentaram liberação dos nutrientes K e P para os solos quando comparados ao tratamento controle. Porém, vale destacar que estes valores foram inferiores quando comparados a fontes solúveis (FAROUTINE, 2018). De acordo com o autor, foram utilizados dois tipos de solos Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) e outro em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo). As doses utilizadas de kamafugito foram crescentes de 1667, 3334, 6668 e 13336 mg dm⁻³. Após o tratamento, realizado 60 dias antes da semeadura, foram realizados dois cultivos da cultura do feijão, sendo ambos os ciclos de duração de 42 dias. O tratamento aplicado de kamafugito em solo argiloso e

arenoso com dose 160 mg dm^{-3} , demonstrou maior teor de K em ambos solos quando comparado à testemunha. Em relação a variável P, os resultados demonstraram em todos os tratamentos de ambos solos teores inferiores em relação às fontes solúveis testadas, comprovando a baixa velocidade de disponibilização de nutriente em relação às fontes solúveis. O autor concluiu que o kamafugito permitiu a liberação de K e P quando aplicado nas maiores doses em ambos os solos, sempre quando comparados à testemunha. Porém, quando relacionado com fontes solúveis de liberação, apresentaram valores inferiores aos mesmos.

- **Incubação por 120 dias**

Para as avaliações resultantes após 120 dias de incubação, apenas as variáveis Ca e Mg não apresentaram interação entre os dois ambientes (LVw e RQ) (Tabela 5). Porém, as demais variáveis K, P, H+Al e Al (Tabelas 6 e 7) apresentaram interação estatística significativa entre os tratamentos nos dois solos avaliados.

Tabela 5 – Média (n=8) dos teores disponíveis de Ca e Mg após 120 dias de incubação de pó de kamafugito com Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamentos¹	Ca²	Mg³
	cmolc.dm ⁻³	
T1	0,53 c	0,17 d
T2	3,91 b	2,03 c
T3	5,40 ab	3,25 b
T4	6,80 a	4,37 a
C.V (%)	26,32%	30,67%

Médias seguidas por letras diferentes na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; 1. T1: Testemunha; T2: $5 \text{ g.dm}^{-3} \text{ K}_2\text{O}$; T3: $10 \text{ g.dm}^{-3} \text{ K}_2\text{O}$; T4: $15 \text{ g.dm}^{-3} \text{ K}_2\text{O}$; 2. Cálcio extraído por KCl 1 mol.L^{-1} ; 3. Magnésio extraído por KCl 1 mol.L^{-1} .

Tabela 6 - Média dos teores disponíveis de K e P após 120 dias de incubação de pó de kamafugito com Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamento ¹	K ²		K ³		P ⁴	
	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw
	mg.dm ⁻³					
T1	11,83 d	18,79 d	6,81 d	13,68 d	0,93 b	8,29 c
T2	93,87 c	98,84 c	77,53 c	79,99 c	1985,9 a	1276,25 b
T3	140,60 b	108,28 b	137,45 b	108,47 b	1779,98 a	1448,41 b
T4	170,92 a	139,10 a	182,14 a	133,52 a	1917,15 a	1684,00 a
C.V (%)	11,53%		13,44%		9,52%	

Médias seguidas por letras diferentes na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ¹T1: Testemunha; T2: 5g.dm⁻³ K₂O; T3: 10g.dm⁻³ K₂O; T4: 15g.dm⁻³ K₂O; ². Potássio extraído por Mehlich 1; ³. K extraído por Acetato de Amônio; ⁴. P extraído por Mehlich 1.

Tabela 7 - Média dos teores disponíveis de H+Al, Acidez Ativa e Al após 120 dias de incubação de pó de kamafugito com Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamentos ¹	H+Al		pH em água		Al ²	
	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw
	cmolc.dm ⁻³		---		cmolc.dm ⁻³	
T1	6,18 b	5,30 c	3,74 b	5,09 b	0,79 a	0,17 a
T2	6,22 a	5,83 ab	5,66 b	5,87 a	0,09 b	0,05 b
T3	6,10 c	5,77 b	5,89 b	6,13 a	0,05 b	0,05 b
T4	6,13 d	5,96 a	6,09 a	6,07 a	0,04 b	0,04 b
C.V (%)	1,65%		6,51%		19,00%	

Médias seguidas por letras diferentes na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ¹T1: Testemunha; T2: 5g.dm⁻³ K₂O; T3: 10g.dm⁻³ K₂O; T4: 15g.dm⁻³ K₂O; ². Alumínio extraído por KCl em cmolc.dm⁻³.

Para facilitar a compreensão, é possível tomar valores equivalentes, considerando que as doses aplicadas fossem cem vezes menores. Como exemplo, destaca-se o teor de P nos dois solos avaliados após 120 dias, cujo aumento foi da ordem de 200 vezes do T1 (controle) para o T4 (maior dose) (Tabela 6). Caso fosse aplicada uma dose de 10 ton.ha⁻¹ de kamafugito, os valores do nutriente disponíveis seriam de 19,17 e 16,84 mg.dm⁻³ no NQ e LVw, respectivamente. Considerando estes resultados, o aumento dos teores dos nutrientes avaliados só foi possibilitado devido às altas dosagens dos tratamentos, sendo mínimo quando comparado com uma fonte solúvel. Uma hipótese a ser levantada, seria o caráter ácido do extrator Mehlich 1, que pode superestimar os teores disponíveis, uma vez que favorece a dissolução dos minerais em contrapartida a extratores mais alcalinos,

como a resina aniônica (SILVA, 1999). Vale ressaltar que devido ao pó de kamafugito apresentar 5,37% de fósforo total, sendo o elemento de maior concentração na rocha (Tabela 1), a possibilidade do uso do produto como fonte de P torna-se questionável. Esta observação é importante, uma vez que o método de análise, de solos que foram tratados com pós de rocha, precisa simular ao máximo o que ocorre no sistema solo-planta.

Potássio, Ca e Mg, apesar de terem apresentado aumento conforme as doses utilizadas, não seguiram o mesmo padrão de liberação do P, e isto pode ser explicado pelas distintas espécies minerais fontes dos nutrientes presentes na rocha. Diferentes solubilidades podem determinar sua indisponibilidade em curtos espaços de tempo. A constituição do pó de kamafugito se destaca em altos valores de K e P, resultados de natureza ultramáfica da rocha. De acordo com Theodoro et al. (2013), mediante a análise petrográfica do kamafugito de Patos de Minas (MG), a rocha apresenta em sua constituição, leucitas, olivinas, piroxênios, flogopitas, diopsídio, perovskita, richterita, kalsilita, apatita melilita e zeolitas, conferindo assim fontes estruturais de Ca, Mg, P e K a partir destes minerais alcalinos de maior solubilidade, quando comparados a silicatos como biotita, muscovita e microclínio.

Os resultados mostram que o pó de kamafugito também atuou de forma positiva quanto às variáveis Ca e Mg, aumentando o teor desses elementos no solo, além da diminuição da acidez, podendo ser considerado como um condicionador de solo.

Destaca-se, entretanto, que a quantidade liberada de K por meio do pó de kamafugito seria impraticável em doses possíveis de serem utilizadas no campo. Após 120 dias de incubação, o tratamento T4 (maior dose), obteve apenas 119,84 mg.dm⁻³ de incremento do nutriente em relação ao controle (T1), obtendo uma relação de incremento correspondente a 11,26 mg.dm⁻³ por tonelada aplicada. O valor seria excelente caso fosse possível aplicar a mesma quantidade em plantios comerciais - correspondente a 239,68 kg.ha⁻¹ (K₂O). Porém, em termos práticos, uma dose à campo (100 vezes menor – 13,5 t ha⁻¹ de remineralizador) teria fornecido apenas 23,96 kg ha⁻¹ K₂O o que seria insuficiente para a demanda das plantas cultivadas em solos pobres neste nutriente.

Além disso, observa-se que os valores de teor de K no solo quando utilizado o extrator acetato de amônio são menores de quando adotado o método Mehlich 1. De pH 7,0, o extrator acetato de amônio é considerado menos agressivo e de maior confiabilidade para solos tratados com remineralizadores oriundos de aluminossilicatos uma vez que não solubiliza formas estruturais do elemento. A diferença entre os valores, poderia ser

explicada devido ao extrator Mehlich 1 ser de natureza ácida, fazendo assim a retirada do K não disponível, presente nos minerais do kamafugito. Em um estudo realizado sobre a eficiência agronômica do kamafugito como fonte de P e K para a cultura do feijão, a rocha promoveu valores superiores ao tratamento controle quanto à variável disponibilidade de P. Já para os solos argilosos, neste mesmo estudo, o pó de kamafugito apresentou valores lineares para a variável disponibilidade de P através das doses crescentes dos tratamentos, enquanto que para disponibilização de K trocável, a rocha apresentou baixos valores em solos argilosos (FAROUTINE, 2018). Além disso, em um estudo sobre as modificações químicas em solo arenoso remineralizado com rochas alcalinas cultivado em soja, a rocha de kamafugito apresentou diferenças significativas de incremento de K (GÖRGEN et al., 2017).

3.2 Análises mineralógicas

A análise de DRX do kamafugito apresentou picos de bases alargadas, o que indica a baixa cristalinidade dos minerais, incluindo a presença de materiais amorfos (Figura 1). Esses dados estão de acordo com os resultados encontrados por Figueiredo et al. (2018), que descreve a composição mineralógica das rochas kamafugíticas de Patos de Minas. Os autores do estudo apontam para a presença de pseudomorfos de leucita e feldspatóides, além de outros compostos amorfos. Estas características tornam os componentes da rocha potencialmente muito instáveis nas condições ambientais encontradas nos solos, resultando em maior solubilidade e disponibilidade dos nutrientes estruturais presentes na rocha.

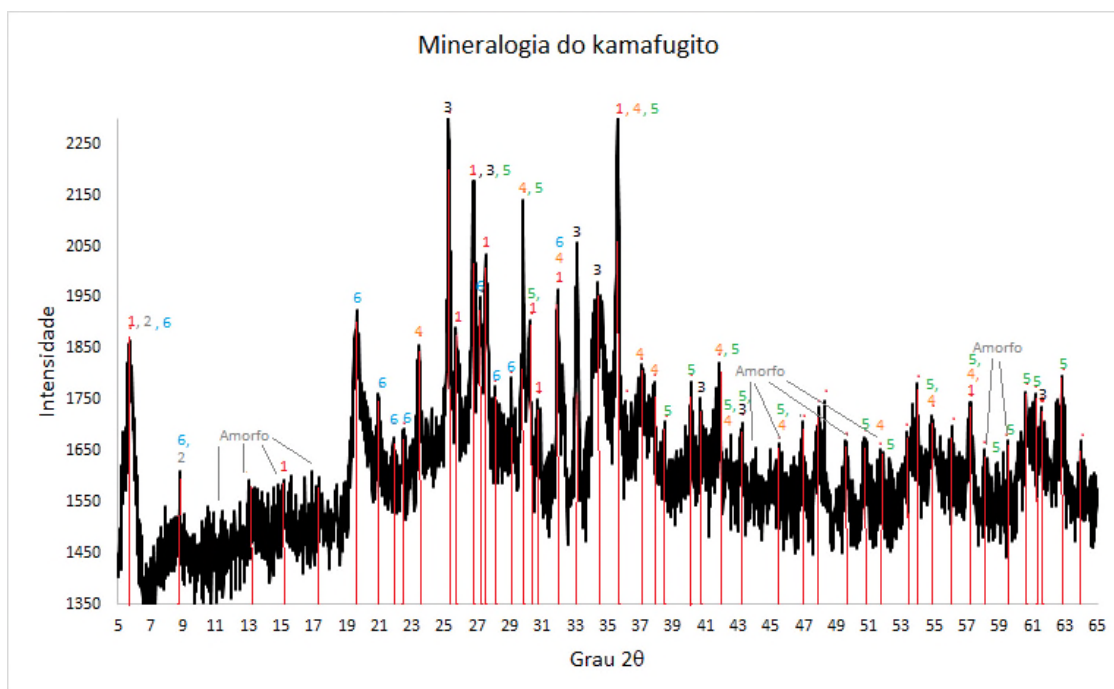


Figura 1. Difratomogramas de raio X (radiação Cu-K α) do pó de kamafugito com os picos de reflexão dos minerais do material: 1. Analcime; 2. Paragonita; 3. Perosviskita; 4. Fosterita; 5. Diopsídio; 6. Mica, Rectorita, Esmeclita, Clorita esmeclita; Amorfo: possibilidade de fedspatóides e materiais ricos em Ca e P e argilas silicatadas de baixa cristalinidade típica de poeiras e vidros vulcânicos.

Outro fator que precisa ser considerado na solubilidade dos minerais e mineralóides do kamafugito, é que se observa a presença de partículas de tamanho silte e argila em toda a amostra avaliada por MEV (Figura 2). Destaca-se que há evidências de que o material já esteja em processo de intemperismo, ou seja, a rocha já se encontra alterada e com seus minerais sendo transformados por intemperismo químico, responsável por tornar os elementos estruturais mais facilmente disponíveis.

As ações do intemperismo promovem a formação de frações menores como silte e argila, aumentando a área superficial específica do material. Isto contribui com o incremento da CTC e liberação de nutrientes, aumentando a capacidade de retenção de água e nutrientes, melhorando a agregação das partículas, o que pode levar a incrementos positivos dos aspectos químicos, físicos e biológicos dos solos. Em regiões onde solos envelhecidos são compostos predominantemente por óxidos na fração argila, ou até mesmo os solos arenosos utilizados em grandes áreas cultivadas, o kamafugito demonstra determinado potencial para melhora das qualidades produtivas, porém, quando levamos em consideração a viabilidade econômica, tal potencial deve ser desconsiderado.

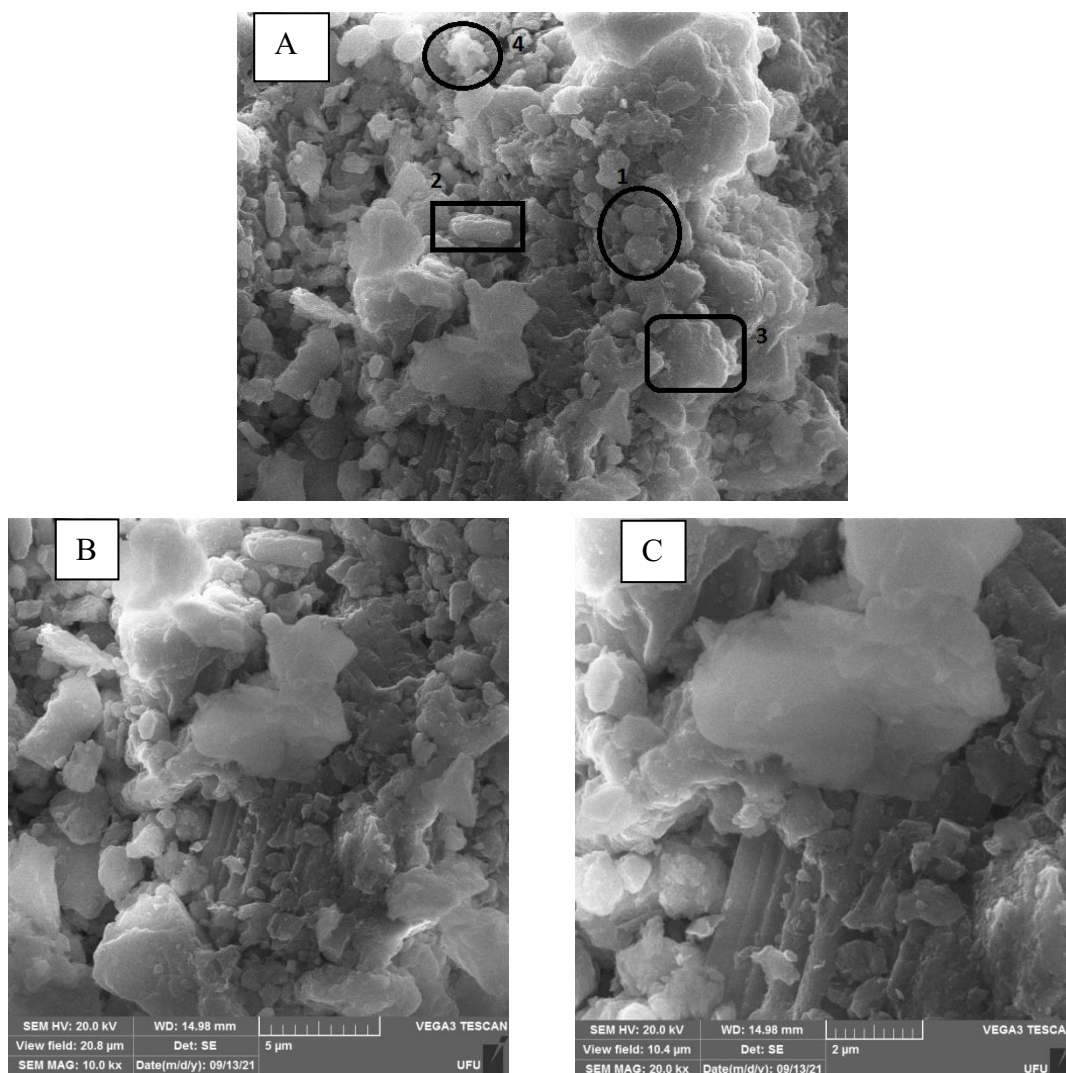


Figura 2. Imagens de minerais em amostra de kamafugito com granulometria menor que 0,2 mm obtida por MEV-EDS; A. Áreas demarcadas para análise dos elementos químicos das amostras; B. Imagem da amostra de kamafugito com aumento de dez mil vezes; C. imagem da amostra de pó de kamafugito obtida com aumento de vinte mil vezes.

Com base nas análises realizadas em MEV-EDS foi possível determinar a concentração de elementos que compõem as partículas observadas nas imagens (Tabela 8). Associando os resultados de MEV com os gráficos de DRX, foram determinadas as fórmulas estruturais dos minerais e mineralóides presentes nas amostras de kamafugito (Tabela 9).

Tabela 8. Análises químicas dos pontos 1, 2, 3 e 4 identificados na figura 2A.

Elemento	1	2	3	4
-----% m/m ou dag/kg-----				
O	56,04	59,57	40,44	58,48
Si	9,91	8,89	24,32	16,43
Al	2,35	2,56	4,35	5,16
Mg	2,94	1,77	4,90	2,53
K	1,88	2,13	6,05	4,22
P	1,53	5,55	0,52	0,41
Fe	6,86	2,94	16,26	3,74
C	3,32	6,33	-	6,84
Ca	1,77	9,58	1,87	0,98
Ti	13,39	0,68	1,30	0,55
Ba	-	-	-	0,67
TOTAL	100	100	100	100

¹ Proporção da massa de um elemento em relação à massa total do composto.

Tabela 9 - Fórmulas estruturais dos minerais identificados por DRX e MEV-EDS

Mineral	Fórmula estrutural	Classe
Analcime	Na (Si ₂ Al) O ₆ .H ₂ O	Filossilicato
Paragonita	NaAl ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	Filossilicato
Perovskita	CaTiO ₃	Óxido
Fosterita	Mg ₂ SiO ₄	Nesosilicato
Diopsídio	Ca, Mg (SiO ₃) ₂	Inossilicato
Mica	\underline{X} (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	Filossilicato
Amorfos	Fonte de P, Ca, K e outros íons	

Observa-se que a rocha possui uma grande diversidade de nutrientes, em minerais silicatados que, segundo a Série de cristalização de Bowen, são mais facilmente intemperizáveis (TEIXEIRA et al., 2000), com menor dureza e maior teor de nutrientes a serem disponibilizados. Os resultados das análises químicas dos solos demonstraram que houve incremento de K, P, Mg e Ca, com diminuição do Al tóxico (Item 3.1), o que associado às respostas mineralógicas, confirmam os possíveis benefícios do material como fonte, especialmente de P, para as plantas. Entretanto, é importante que novos estudos sejam realizados para compreender o efeito em doses viáveis para as plantas cultivadas.

4. CONCLUSÕES

O pó de kamafulgito apresentou liberação quanto ao caractere disponibilidade de nutrientes porém a partir de doses inviáveis economicamente, obtendo diferença estatística para as variáveis K, Ca, Mg, P, Al, H+Al e acidez ativa.

Os ambientes testados em diferentes épocas de incubação apresentaram interação significativa para ambos os métodos de extração de K (Mehlich 1 e Acetato de Amônio).

Os resultados mostraram a limitação do uso do remineralizador como fonte de liberação imediata de nutrientes, devido à baixa concentração encontrada nos resultados, não sendo suficiente para atender à demanda pelas plantas em áreas cultivadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados, sugere-se o estudo de novos trabalhos a fim de elucidar a real eficiência do pó de kamafulgito, visto que os valores obtidos pelo método Mehlich 1, propõe superestimação dos dados.

Devido à baixa velocidade de liberação de nutrientes, no presente trabalho utilizaram-se altas doses de pó de kamafulgito, com o objetivo de garantir alguma liberação do mesmo.

Dessa maneira, a realização de testes com doses viáveis de cunho prático e avaliativo são necessárias, inserindo no sistema, plantas e bactérias com objetivo de aumentar a velocidade da dinâmica de liberação.

6. REFERÊNCIAS

- BALLESTERO, S. D.; JORGE, J. A.; NICOLINO, C. A. C.; FILLIETTAZ, E. V. V.; ONO, R. K. Efeito da compostagem na solubilização de rochas fosfatadas e potássicas. **Biociência**, Taubaté, v. 2, n. 1, p.15-22. 1996.
- BINDRABAN, P. S.; DIMKPA, C. O.; PANDEY, R. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 299-317, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2>.
- BRASIL, 2016. MAPA IN 05/2016. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa SDA N.º 05 de 10 de março de 2016. Dispõe sobre os critérios e protocolos em remineralizadores e substratos para as plantas, destinados à agricultura.
- 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.
- DE PÁDUA, EDUANE JOSÉ. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012.
- FAROUTINE, G. Eficiência agrônômica do kamafugito com fonte de fósforo e potássio para a cultura do feijão. **Tese (Mestrado em Agronomia)** – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 76. 2018.
- FIGUEIREDO, C.A.; CHAVES, A.O.; SGARBI, P.B.A.; FERNANDES, M.L.S. Processo de analcimização de um kamafugito (LUZ262) do Centro-Oeste Mineiro. **Genomos**, v. 26 n. 1, p. 1-11, 2018.
- 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.
- FRANDOLOSO, J.F et al. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 57, p. 686-694, 2010.
- GÖRGEN, C. A.; GUIMARÃES, E. M.; LOBO JUNIOR, M. Modificações químicas em solo arenoso remineralizado com rochas alcalinas cultivado com soja. In: Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA**, 16., 2017, Armação dos Búzios. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2017., 2017.
- JÚNIOR, J.J.A et al. Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.11,p.88440-88446,2020.
- 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.
- 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.
- MARTINS, É. S. Pó de rocha silicática é alternativa no condicionamento do solo. **Campo & Negócios**, Uberlândia, 2016.
- 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.
- MENEZES, E.J.R. Eficiência da utilização de pó de micaxisto e esterco na produção de couve folha. 2016. 29p. **Trabalho de conclusão de curso (Curso de Bacharelado em Agronomia)**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Morrinhos, Morrinhos-GO, 201.
- MOREIRA F.L.M, et al. Adsorção de fósforo em solos do estado do Ceará. **R Ci Agron.** 2006;37:7-12.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H., BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.; Fertilidade do Solo. Viçosa, **MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. 1017p.
- OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? In: Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas. **Revista Agroecologia Hoje**, ano IV, n. 20, ago/set, 2003.
- RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. Mineralogia dos Solos Brasileiros: interpretação e aplicações. **Lavras: UFLA**, 2005.
- SILVA, F. C; RAIJ, B. V;. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 267-288, 1999.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2002.
- TEIXEIRA, W. et al. Decifrando a Terra. Ed. **Oficina de Textos**, São Paulo, 2000. 557 p.
- THEODORO, S. C. H. A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Brasília: UNB, 2000. p. 225. **Tese Doutorado**.