

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FERNANDO HENRIQUE SOUTO REZENDE

LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO A PARTIR DE MICAXISTO MOÍDO APLICADO EM
SOLOS DO CERRADO

Uberlândia

2022

FERNANDO HENRIQUE SOUTO REZENDE

LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO A PARTIR DE MICAXISTO MOÍDO APLICADO EM
SOLOS DO CERRADO

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

Coorientador: Wedisson Oliveira Santos

Gabriella Queiroz de Almeida

Uberlândia

2022

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

R467 Rezende, Fernando Henrique Souto, 2000-
2022 Liberação de potássio a partir de micaxisto
moído aplicado em solos do Cerrado [recurso
eletrônico] / Fernando Henrique Souto Rezende.
- 2022.

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

Universidade Federal de Uberlândia, Graduação
em Agronomia.

Modo de acesso:
Internet. Inclui
bibliografia.

Inclui ilustrações.

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

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

FERNANDO HENRIQUE SOUTO REZENDE

LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO A PARTIR DE MICAXISTO MOÍDO APLICADO EM
SOLOS DO CERRADO

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:

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Nome – Titulação (sigla da instituição)

RESUMO

Em solos tropicais o potássio (K) é um nutriente com baixa disponibilidade, devido ao intenso intemperismo dos minerais primários e intensa lixiviação. Muitas rochas têm sido moídas e utilizadas como fontes de K na agricultura. Diante disso, este trabalho tem como objetivo compreender a dinâmica de liberação de K a partir do uso de pó de micaxisto aplicado a dois distintos solos de Cerrado – Latossolo Vermelho Ácrico típico e Neossolo Quartzarênico. Foram incubadas, em 100 g de solo, três doses de pó de micaxisto moído em delineamento inteiramente casualizado, pelo período de 60 e 120 dias. As doses de K_2O dos tratamentos foram: 0, 5000, 10000 e 15000 $mg.dm^{-3}$. Cada tratamento, incluindo o controle (dose zero do produto), teve quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Após 60 e 120 dias foram coletadas amostras dos solos para análise de K e P disponível por Mehlich 1 e acetato de amônio (este último para extração de K), cálcio, magnésio, acidez ativa e potencial. Os resultados foram submetidos a análise de variância e teste de médias no software R. Quando analisados os teores de K sobre análise com o extrator acetato de amônio, cujo pH é 7,0 e possivelmente mais fidedigno ao teor disponível às plantas, uma vez que não solubiliza formas estruturais do nutriente, o incremento com o aumento das doses foi muito baixo. A utilização do remineralizador como única fonte de determinados nutrientes pode comprometer o desenvolvimento das culturas, uma vez que sua liberação é muito lenta com baixos incrementos de nutrientes essenciais.

Palavras-chave: Solos tropicais, Pó de rocha, Adubação.

SUMÁRIO

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 JUSTIFICATIVA	8
1.2 OBJETIVO GERAL	9
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	10
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1 ANÁLISES QUÍMICAS	12
3.2 ANÁLISES MINERALÓGICAS	15
4 CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

O uso de pós de rocha como condicionadores de solo é antigo na produção agrícola. Entretanto, nos últimos anos no Brasil, muitas empresas têm se engajado na comercialização destes produtos, tendo em vista a nova legislação para “Remineralizadores de Solo”. De fato, a publicação da Instrução Normativa nº 05/2016, que regulamenta os Remineralizadores de Solo como materiais que devem conter no mínimo 1% de K_2O ; $\Sigma(CaO, MgO \text{ e } K_2O) \geq 9,0 \%$; e teores de As, Cd, Hg e Pb inferiores a 15, 10, 0,1 e 200 mg/kg (Brasil, 2016), respectivamente, oportunizou a comercialização de muitos tipos de pós de rocha, que até então eram apenas subprodutos de indústrias de produção de britas e material para pavimentação e revestimentos. Além disso, o interesse pelo uso de remineralizadores como fontes de potássio (K) tem sido comum, face a extrema dependência externa brasileira por fertilizantes potássicos. Estima-se que em 2018 o país importou mais de 96% do K utilizado no agronegócio (Globalfert, 2018).

O K está presente em diversos minerais, mas apenas um pequeno número deles é considerado de interesse econômico, tanto pelo seu conteúdo, como pela maior solubilidade, como é o caso dos cloretos e sulfatos (Nascimento et al., 2004). Feldspatos potássicos e minerais micáceos são fontes minerais de K muito comuns na natureza, e podem conter até 17% de K_2O (Neumann, 2001; Melo et al, 2009). Porém, nesse caso o nutriente se encontra na forma estrutural (Song e Huang, 1988) e sua solubilidade é restrita, necessitando do intemperismo para a liberação do nutriente.

Nos solos o K está presente, principalmente, sob três formas: I) potássio estrutural (compondo as estruturas dos minerais primários); II) potássio trocável (ligado às cargas dos colóides); III) na solução. As formas não trocáveis de K também podem ocorrer quando os solos possuem minerais secundários como vermiculita, não sendo o quadro que se apresenta na região do Cerrado brasileiro. Experimentos, conduzidos por longos períodos, demonstram que solos mais intemperizados apresentam considerável queda no teor de K trocável (Rosolem et al, 1993, Nascimento et al., 2004). Devido à baixa reserva de minerais primários fonte de K e elevadas perdas por lixiviação, é comum ocorrer carência do nutriente nestes solos. Essa tendência de esgotamento do K, aliada à elevada produtividade agrícola do país, fez com que o Brasil se tornasse o terceiro maior consumidor deste nutriente no mundo (Globalfert, 2018).

Para suprir a demanda das plantas por K e solucionar, ao menos em parte, a dependência da importação, algumas rochas e minerais ricos em K podem ser utilizadas em sistemas de produção alternativos, principalmente em solos tropicais altamente intemperizados, como os do bioma Cerrado (van Straaten, 2006, Martins et al., 2008). Apesar dos possíveis benefícios do uso destes insumos, a determinação da taxa de dissolução de minerais é um desafio científico (Maddox, 1988; Gautier et al., 2001). Isto se deve à liberação lenta de elementos a partir de suas formas estruturais e dissolução incongruente e não linear dos silicatos (Hodson, 2006).

Estudos apontam que a maioria das rochas brasileiras, como a glauconita, apresenta baixa capacidade fornecer K às plantas (Silva et al., 2012; Santos et al., 2016). Por outro lado, Von Wilbert e Lukes (2003) utilizaram seis toneladas por hectare de pó de rocha fonolíticas em florestas no sudeste da Alemanha e seus resultados demonstraram que houve aumento do pH e melhoria de atributos químicos dos solos. Von Fragstein et al. (1988), apontaram que as maiores taxas de liberação de cátions eram relacionadas à rochas vulcânicas fonolíticas, seguidas por rochas basálticas. Em pesquisa realizada com rochas ultramáficas em cultivo de alface, os resultados demonstraram bom potencial destes materiais para áreas cultivadas, mesmo em culturas de ciclo mais curto (Silva et al., 2013). Respostas como estas justificam tanto o estudo do uso de remineralizadores na viabilidade econômica e eficiência agrônoma em áreas agrícolas, como alternativas para o incremento da qualidade do solo. Segundo Theodoro (2000), em função da disponibilização lenta dos nutrientes, os efeitos gerados pela adubação via pó de rocha podem se estender por até quatro ou cinco anos consecutivos. Outro benefício diz respeito a dar finalidade para resíduos gerados com as atividades de mineração, que deixam de ser apenas passivos ambientais e passam a ter importante função na cadeia produtiva.

Dentre os possíveis materiais que podem fornecer potássio para os cultivos agrícolas, está o micaxisto. Os micaxistos são rochas metamórficas com xistosidade acentuada, formados essencialmente por quartzo e mica muscovita ou biotita, podendo apresentar feldspato, estauroilite, granadas, silimanite e hornblenda (Piuzeira et al., 2003). A rocha apresenta grande quantidade de minerais ricos em K em seu conteúdo. Os íons K ficam retidos nos poros ditrigonais da estrutura cristalina, sendo neste caso, indisponíveis às plantas até que haja a expansão das lâminas tetraédricas e octaédricas da estrutura cristalina (Manning, 2010). Em síntese, é preciso que ocorra o intemperismo dos cristais, que é afetado por alguns fatores ambientais, como por exemplo: I) umidade; II) força iônica da solução; III) textura do solo; IV) resistência do mineral ao intemperismo; entre outros. De acordo com Silva et al. (2012), o mineral sofre intemperismo e dissolução através de reações de quebra das ligações metal-

oxigênio, onde íons de H^+ ocupam a superfície fazendo a troca entre o metal e o próton, desestabilizando a ligação e promovendo a liberação do elemento à solução. O tamanho das partículas, temperatura, pH e outras condições da solução, são fatores envolvidos na cinética de liberação de íons a partir do intemperismo da fase sólida mineral. Para analisar esta questão Riggs et al, (1993) realizaram testes de K trocável e total de solos tratados com pó de rocha rico em feldspato. Os resultados mostraram que a dissolução dos minerais ocorreu com maior eficiência em sistemas abertos, concluindo que a habilidade de dissolução dos minerais ricos em K aumenta em solos com baixas concentrações do elemento na solução do solo.

Diante o exposto, é importante considerar diversos fatores para que pós de rochas possam ser recomendados como alternativa de adubação para produtores rurais. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo conhecer a disponibilidade de K no solo a partir do uso de pó de rocha micaxisto em dois diferentes solos de Cerrado.

1.1 Justificativa

O potássio se apresenta no solo principalmente ligado às cargas negativas das argilas e matéria orgânica, sendo um dos nutrientes mais escassos no ambiente para as plantas superiores. O Brasil, apesar de toda a tecnologia e alta produtividade e expressão da agricultura no mercado mundial, conta com elevado número de produtores rurais de baixo nível tecnológico e com dificuldades consideráveis para aquisição de insumos de qualidade. Os adubos químicos representam um dos maiores custos de produção. Além disso, o país é extremamente dependente da importação destes produtos. A busca por alternativas pode desonerar os custos de produção e aumentar a lucratividade nestas propriedades, cuja demanda é crescente e urgente, e de grande relevância para o setor agrícola do país.

Além disso, um grande problema é a demanda para a destinação final dos resíduos gerados pelas atividades de mineração. Isso acontece pelo fato destes materiais serem caracterizados como resíduos da mineração. Assim, áreas agrícolas podem contribuir expressivamente com o ambiente, impedindo o acúmulo e gerando finalidade para estes passivos ambientais.

Para avaliar a dinâmica do K no solo a partir do uso de remineralizadores em cultivos agrícolas, é necessário utilizar tratamentos que atuem diretamente nas características de distintos tipos de solos, simulando condições encontradas por agricultores ao longo do território nacional. Estudos desta natureza ainda são incipientes, apesar de incentivados, tanto pela

necessidade de dar finalidade aos resíduos gerados com a mineração - diminuindo com isso os impactos ambientais - como para servir de fonte de nutrientes para os cultivos agrícolas.

1.2 Objetivo geral

Testar o uso de pó de micaxisto no incremento de potássio disponível nos solos e compreender a dinâmica de liberação do K a partir do uso em duas diferentes classes de solos.

1.3 Objetivos específicos

- Conhecer a dinâmica de liberação do K a partir de pó de micaxisto em dois distintos solos do bioma Cerrado ao longo do tempo com dois diferentes extratores – Mehlich 1 e acetato de amônio.

- Avaliar o teor de potássio disponível no solo como resultado da aplicação de pó de micaxisto aos 60 e 120 dias após a incubação dos solos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de Pedologia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial 2x4x4, analisando interação entre os solos e as doses do produto, com quatro repetições. Foi avaliado o efeito do uso do micaxisto (cujas características químicas apresentam-se na Tabela 1), extraído de uma pedreira localizada em Aparecida de Goiânia – Goiás, em duas classes de solo com baixos teores de K coletados na região de Uberlândia, MG: I) Latossolo Vermelho Ácrico típico (LVw); II) Neossolo Quartzarênico (RQ). O micaxisto ficou em contato com o solo, considerando quatro dosagens de K por um período de incubação de 60 e 120 dias. Os solos foram coletados na camada de 0-20 cm de profundidade em áreas homogêneas de LVw e RQ (solos não cultivados).

Tabela 1 – Garantias mínimas dos teores totais de K₂O, CaO, MgO, P₂O₅ no pó de micaxisto.

Parâmetro	Resultado	Unidade
Óxido de Potássio (K ₂ O)	3,70	%
Óxido de Cálcio (CaO)	3,22	%
Óxido de Magnésio (MgO)	2,26	%
Fósforo - P ₂ O ₅	<1,0	%
pH de Abrasão	7,95	-

Certificado de análise N°: 1080/19F. Emissão: 22/08/2019

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em malha 2 mm e submetidas à incubação em sacos plásticos em contato com o produto (100 g de solo em cada). A umidade nas unidades experimentais foi mantida na capacidade de campo, com adição de água destilada, em sistema fechado, mantendo a massa das amostras + água em 150 g. Foram utilizadas quantidades elevadas de pó de rocha, com intuito de garantir o mínimo de liberação a fim de avaliar o teor de nutrientes, sendo as doses de K₂O de cada tratamento: 0, 5000, 10000 e 15000 mg.dm⁻³ (Tabela 2). Cada tratamento teve quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais.

Tabela 2 – Distribuição das doses de potássio e pó de micaxisto nos quatro tratamentos.

Tratamentos	K ₂ O (mg.dm ⁻³)	Dose de micaxisto (t.ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	5.000	270
T3	10.000	540
T4	15.000	810

A mineralogia do pó de micaxisto foi caracterizada por difratometria de raios X (DRX). Os difratogramas foram obtidos em difratômetro com goniômetro vertical Philips com feixes de CuK α a 50 kV e 20 mA, na velocidade de 1°. 2 θ min⁻¹. A amplitude de varredura foi de 4 a 50°. 2 θ . A mineralogia do tratamento 3 do solo RQ foi avaliada por DRX após 120 dias. Este solo foi escolhido por contar com textura arenosa e ter predomínio de quartzo na fração areia, facilitando a visualização da alteração da composição mineral.

Para verificar a morfologia e composição química dos minerais, amostras de micaxisto foram levadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) com detector de raios-X por dispersão de energia (EDS).

Os solos tratados com micaxisto foram coletados aos 60 e 120 dias após à incubação inicial. O teor de potássio trocável foi obtido pelo método do acetato de amônio (AcNH₄) e Mehlich 1 (Teixeira, 2017). Foram avaliados ainda os teores disponíveis de P por Mehlich 1, Ca, Mg e Al trocáveis extraídos por KCl 1 mol.L⁻¹, acidez ativa (CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹) e acidez potencial (SMP) (Embrapa, 2011).

Os dados de potássio trocável, pH, acidez potencial, P disponível, Ca, Mg e Al trocáveis obtidos de cada unidade experimental foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância e em seguida foi realizada à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises químicas

No período de incubação por 60 dias não houve diferença significativa entre os dois tipos de solos para análise de K, P, Mg, H + Al. Isso demonstra que as doses analisadas, tanto no Latossolo Vermelho Ácrico típico, quanto no Neossolo Quartzarênico, quando comparadas entre si, geraram resultados similares, não apontando para interação significativa (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores médios disponíveis de K, P, Mg e H + Al após 60 dias de incubação de pó de micaxisto com Latossolo Vermelho Ácrico típico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamentos ²	K (mg.dm ⁻³)	K (mg.dm ⁻³)	P (mg.dm ⁻³)	Mg (cmolc.dm ⁻³)	H + Al
	Mehlich 1	Acetato de Amônio			
1	14.06 d ¹	16.63 c	1.21 c	0.23 b	5.82 a
2	324.43 c	44.57 b	19.78 b	0.33 ab	4.59 b
3	367.94 b	53.71 ab	34.00 a	0.33 ab	4.10 c
4	434.71 a	58.45 a	38.52 a	0.38 a	3.96 c
C.V (%)	10.53	17.57	23.88	28.76	6.17

¹. Médias seguidas por letras diferentes na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ².

T1: Testemunha; T2: 5000 mg.dm⁻³ K₂O; T3: 10.000 mg.dm⁻³ K₂O; T4: 15000 mg.dm⁻³ K₂O.

No mesmo período de incubação, houve interação significativa entre os dois tipos de solos para Ca trocável, acidez ativa e Al trocável, ou seja, cada solo apresentou diferentes níveis desses elementos, o que mostra que responderam aos tratamentos de formas distintas (Tabela 4).

Tabela 4 – Teores disponíveis de Ca, Al e pH (acidez ativa) após 60 dias de incubação de pó de micaxisto com Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamentos ²	Ca (cmolc.dm ⁻³)		Ac. Ativa		Al (cmolc.dm ⁻³)	
	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw
	1	0.15 c ¹	0.45 c	3.96 c	5.02 b	0.59 a
2	0.47 b	0.60 b	5.99 b	6.00 a	0.03 b	0.00 a
3	0.67 a	0.72 a	6.92 a	6.18 a	0.01 b	0.00 a
4	0.68 a	0.82 a	7.40 a	6.33 a	0.00 b	0.00 a
C.V (%)	11.25		4.47		28.58	

¹. Médias seguidas por letras diferentes na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ².

T1: Testemunha; T2: 5000 mg.dm⁻³ K₂O; T3: 10.000 mg.dm⁻³ K₂O; T4: 15000 mg.dm⁻³ K₂O.

Também para o período de incubação de 120 dias, não houve diferença significativa entre os dois tipos de solos para análises de K e H + Al (Tabela 5). Com isso, as demais análises (P, Ca, Mg, Al e acidez ativa), apontaram para interação significativa entre o Latossolo Vermelho Ácrico típico e o Neossolo Quartzarênico (Tabela 6).

Tabela 5 – Teores de K e H + Al após 120 dias de incubação de pó de micaxisto com Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamentos ²	K (mg.dm ⁻³) Mehlich 1	K (mg.dm ⁻³) Acetato de Amônio	H + Al
	1	17.56 c ¹	24.49 b
2	647.85 b	59.60 ab	6.02 b
3	801.97 ab	64.76 a	6.23 a
4	824.34 a	66.72 a	6.36 a
C.V (%)	21.57	27.1	1.64

¹. Médias seguidas por letras diferentes na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ².

T1: Testemunha; T2: 5000 mg.dm⁻³ K₂O; T3: 10.000 mg.dm⁻³ K₂O; T4: 15000 mg.dm⁻³ K₂O.

Tabela 6 – Teores de P, Ca, Mg, pH e Al após 120 dias de incubação com pó de micaxisto com Latossolo Vermelho Ácrico (LVw) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

Tratamentos ₂	P (mg.dm ⁻³)		Ca (cmol _c .dm ⁻³)		Mg (cmol _c .dm ⁻³)		Ac Ativa		Al (cmol _c .dm ⁻³)	
	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw	RQ	LVw
	1	0.52 b ¹	4.54 d	0.19 d	1.03 c	0.06 b	0.28 c	3.72 d	4.72 b	0.87 a
2	12.01 b	13.69 c	1.47 c	1.82 b	0.16 a	0.35 b	5.46 c	5.64 a	0.09 b	0.07 b
3	204.46 a	67.25 b	1.84 b	2.32 a	0.18 a	0.35 b	6.43 b	5.96 a	0.06 b	0.05 b
4	290.49 a	87.1 a	2.3 a	2.49 a	0.18 a	0.38 a	6.95 a	5.82 a	0.06 b	0.05 b
C.V (%)	56.83		7.83		6.13		2.99		27.1	

¹. Médias seguidas por letras diferentes na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ².

T1: Testemunha; T2: 5000 mg.dm⁻³ K₂O; T3: 10.000 mg.dm⁻³ K₂O; T4: 15000 mg.dm⁻³ K₂O.

Em um estudo avaliando efeitos condicionadores e nutricionais de uso de remineralizador em Neossolo Quartzarênico, também foram observados efeitos positivos do produto como corretivo de acidez do solo e fonte de cálcio e magnésio. Outro ponto em comum observado é o aumento da dose com efeito significativo sobre o aumento do pH do solo (SOUZA et al., 2017). Porém, Silva et al. (2008) observaram que o efeito positivo do pó de rocha sobre a qualidade química do solo foi evidenciado após 165 dias de sua aplicação, o que

difere de certa forma do presente trabalho, uma vez que as altas doses apontaram para incrementos com apenas 60 dias de incubação.

Estes resultados permitem concluir que mesmo com doses muito elevadas do produto utilizado, não é interessante comparar com valores de K e P disponíveis a partir de fontes solúveis desses nutrientes, uma vez que as doses utilizadas são impraticáveis na agricultura. Além disso, quando observamos o teor disponível de K com o extrator acetato de amônio, incubado com 120 dias, o tratamento 4 (maior dose de produto) apontou para um incremento de 42,23 mg.dm⁻³ em relação ao tratamento 1 (testemunha). Tal incremento corresponde em apenas 84,46 kg K₂O por hectare, ou seja, a fonte solúvel seria muito mais econômica e praticável operacionalmente.

No presente estudo, observa-se que quando utilizado o método Mehlich 1 para avaliação do teor de K do solo, os resultados são muito distantes da metodologia de extração pelo acetato de amônio. Como o primeiro método apresenta baixo pH da solução extratora, uma hipótese que explicaria tal situação seria a retirada de K estrutural presente no produto, que ainda não foi solubilizada para que fique na forma disponível para as plantas. Ainda assim, nos estudos de Souza (2017) e de Resende (2006), os efeitos das doses crescentes do remineralizador não foram significativos sobre a liberação e disponibilidade inicial de K. No presente trabalho, quando analisados os teores de K sobre análise com o extrator acetato de amônio, cujo pH é 7,0, e possivelmente mais fidedigno ao teor disponível às plantas, uma vez que não solubiliza formas estruturais do nutriente, o incremento com o aumento das doses foi mínimo.

É fundamental ressaltar que as doses de produto no presente trabalho foram superestimadas, justamente para garantir alguma liberação do nutriente para as avaliações. É necessário realizar testes com doses viáveis de serem aplicadas nas áreas cultivadas para avaliar ou simular situações em que plantas sejam inseridas no sistema como indicadores do nutriente disponível no solo. Menezes (2016) reafirma a lenta liberação dos nutrientes provenientes do pó de rocha. Tal característica resulta na dificuldade da absorção do nutriente pelas plantas, uma vez que, porventura, os nutrientes se encontram indisponíveis, participando da estrutura cristalina dos minerais. Ainda, seus dados induzem a associação do pó de rocha à outra fonte de nutrientes que possua liberação mais rápida, de forma que as necessidades das plantas sejam supridas. Além disso, prevalece certa inconclusão quanto à real disponibilidade de K no solo, uma vez que os resultados obtidos com os diferentes métodos foram muito discrepantes.

3.2 Análises mineralógicas

Para avaliar as possíveis alterações mineralógicas ocorridas no período, foram selecionadas as amostras de Neossolo Quartzarênico do T1NQ e T3NQ, e comparados ao DRX do pó de micaxisto puro (granulometria < 0,2 mm) (Figura 1), facilitando a observação de picos oriundos do pó de rocha.

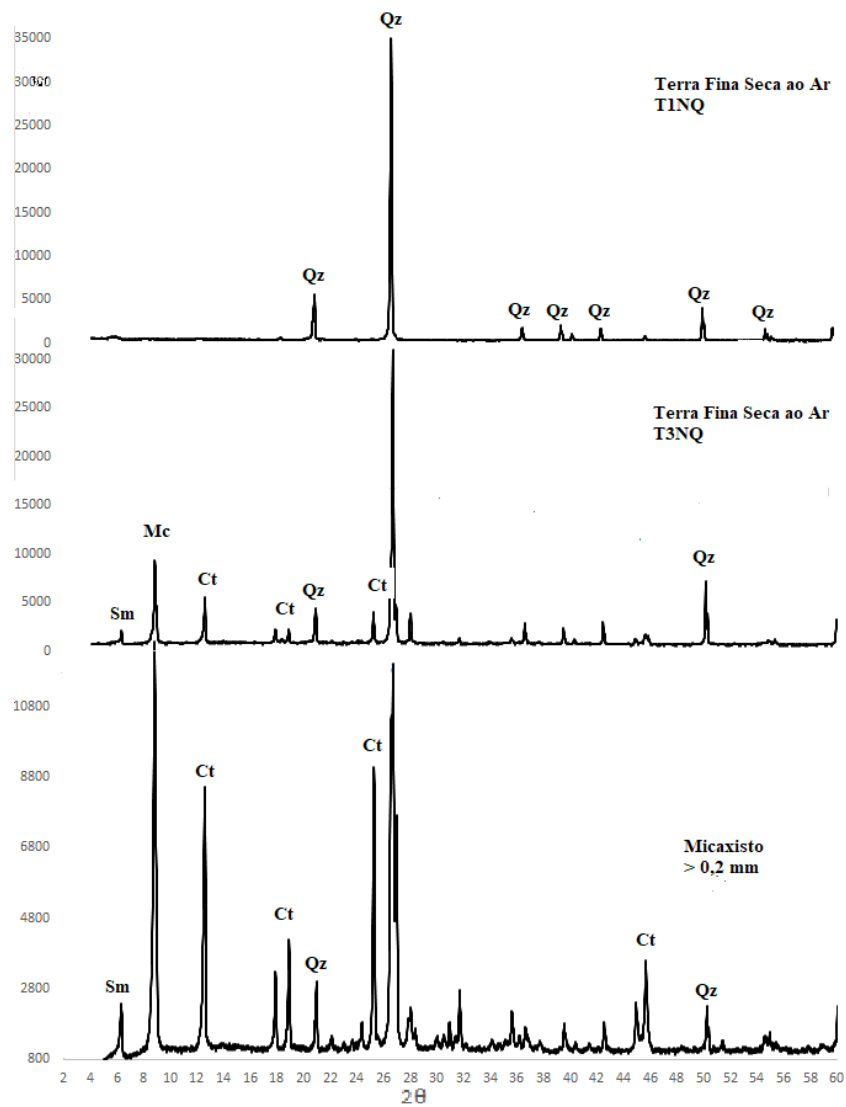


Figura 1. Difrátogramas de raio X (radiação Cu-K α) do pó de micaxisto e terra fina seca ao ar dos tratamentos T3 e T1 (de baixo para cima) mostrando as alterações mineralógicas entre os tratamentos. Qz – quartzo, Mc – mica, Sm – esmectita, Ct - caulinita.

Os difratogramas demonstram que houve diferença na composição mineralógica dos solos que receberam o pó de micaxisto (T3NQ) em comparação à amostra que não recebeu o

tratamento (TINQ). Os picos, observados nos resultados do pó de rocha, são coincidentes com os observados nas amostras dos solos tratados.

É possível observar que os minerais presentes no micaxisto coincidem com minerais silicatados como esmectita (filossilicato secundário 2:1), caulinita (filossilicato secundário 1:1) e mica (filossilicato primário) do solo que recebeu o tratamento. É importante entender que a presença destes minerais, pode levar à maior disponibilidade dos nutrientes a partir do uso do pó de micaxisto, uma vez que, especialmente os minerais secundários 2:1 como a esmectita, apresentam maior potencial de fornecer potássio às plantas. Os secundários mais resistentes como a caulinita, têm menor probabilidade de serem fonte de nutrientes. Percebe-se pela altura e largura dos picos dos dois últimos gráficos da Figura 1, que os minerais presentes são de alta cristalinidade – picos altos e estreitos – o que leva a conclusão de que há maior dificuldade em serem solubilizados.

Os gráficos de DRX apontam que há um processo de intemperismo e transformação dos minerais partindo de mica e se transformando em esmectita – caulinita. Isto pode ser confirmado pelas imagens de MEV associadas à análise química de EDS (Figura 2 e Figura 3).

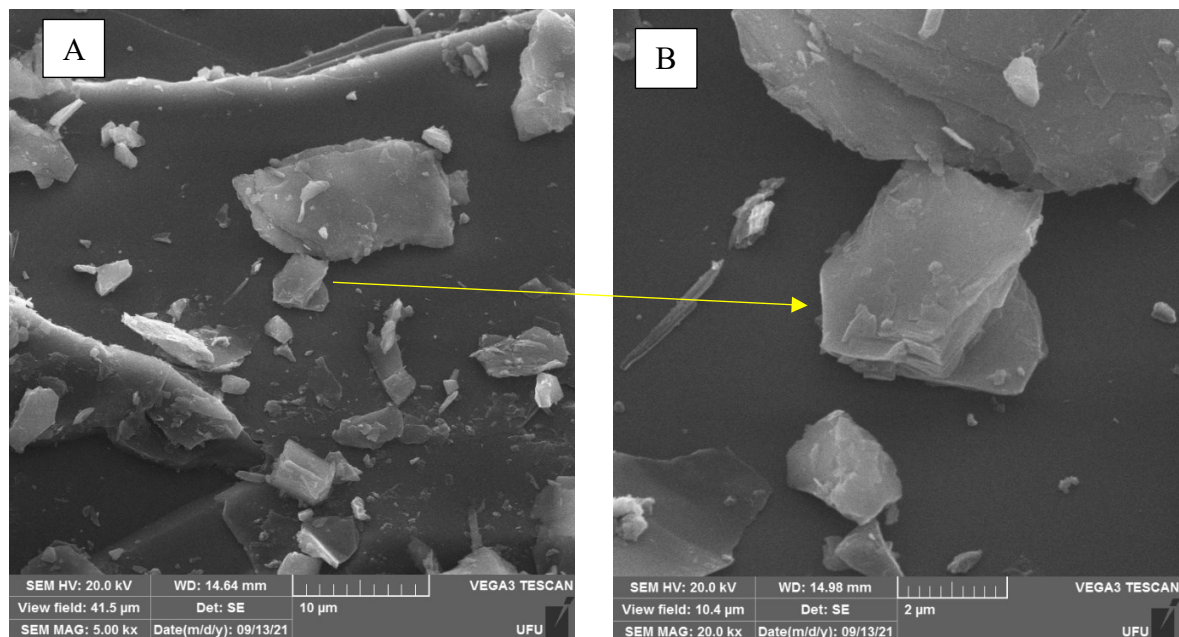
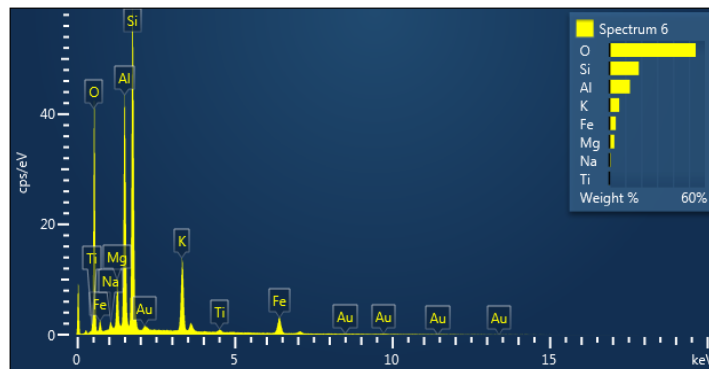
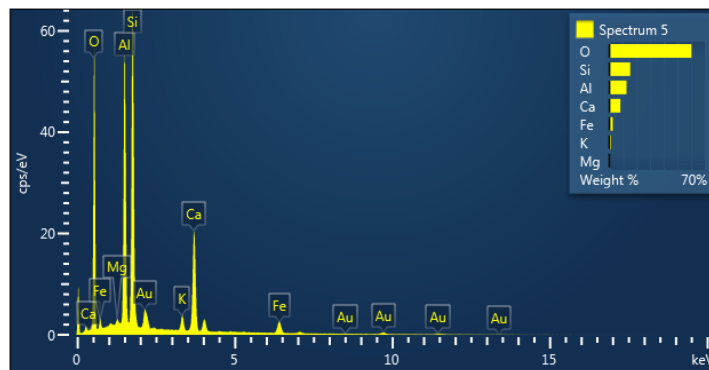
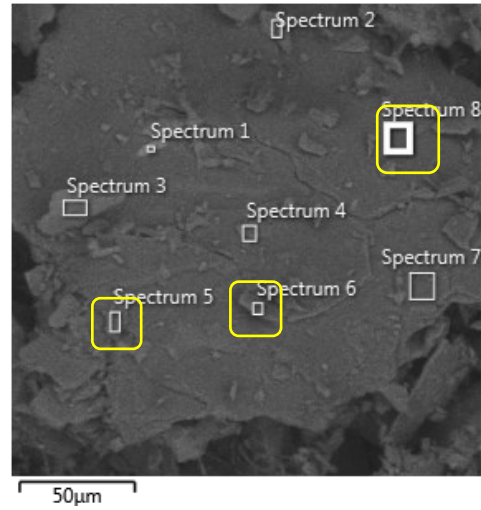
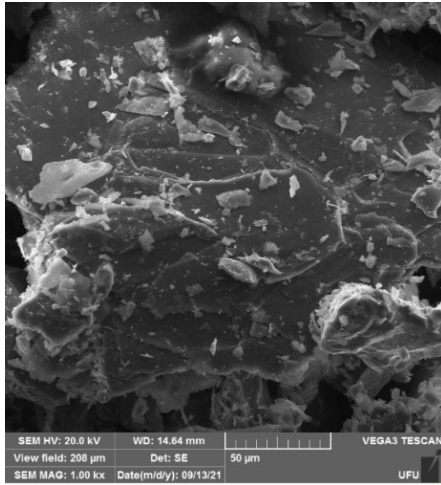


Figura 2. Partículas de micaxisto finamente moído (< 0,2 mm) obtidas em microscópio eletrônico de varredura com aumento de 5000 vezes (A) e 20000 vezes (B).

Como para a análise mineralógica, o remineralizador foi analisado sem passar pelo período de incubação com os solos, há a hipótese de que a amostra não se trate de rocha completamente sã, ou seja, o material já se encontra saprolitizado e com maior possibilidade de liberação de nutrientes estruturais. Assim, o seu uso e recomendação não podem ser

comparados aos materiais que sejam de rocha sã, oriundos de outras pedreiras e condições ambientais.



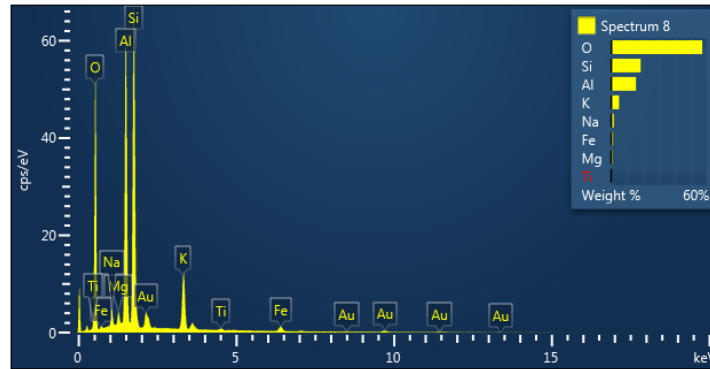


Figura 3. Imagens de micaxisto obtidas em MEV-EDS seguidas de suas composições químicas em porcentagem de massa do material (regiões marcadas em amarelo – 3 B).

Nota-se que a morfologia das partículas avaliadas é coerente com minerais filossilicatados, primários e secundários devido a diferença de formas e tamanhos. A composição química, obtida por análise em EDS (Figura 3), reflete a presença de Si e Al na proporção de 1:1, o que confirma a presença de caulinita sendo formada, além da presença de potássio, configurando a composição química de filossilicatos do tipo 2:1 secundários. A caulinita está sendo formada a partir do intemperismo dos minerais primários e secundários presentes no micaxisto, o que aponta para o fato de que este material é capaz de liberar o nutriente para a solução do solo, porém, como mencionado anteriormente, os resultados apontam para uma rocha que já está alterada pelo intemperismo. Para confirmar a presença de minerais micáceos primários e secundários, alguns pontos do EDS apresentam elevados teores de K e Ca, o que só é possível em minerais com menor grau de intemperismo.

4 CONCLUSÕES

O remineralizador avaliado apresentou aumento no teor disponível de nutrientes, com diferenças significativas para K, P, Ca, Mg, Al, H + Al e acidez trocável.

O resultado obtido pelo método Mehlich 1 para analisar solos tratados com remineralizadores sugere superestimação dos resultados de K, necessitando estudos futuros para avaliar a real eficiência.

A utilização do remineralizador como única fonte de nutrientes não é recomendada, uma vez que sua liberação resulta no fornecimento de teores muito baixos de nutrientes – as doses aplicadas foram muito elevadas.

REFERÊNCIAS

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.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Secção 1, p.10-11.

EMBRAPA, 2011. **Manual de Métodos de Análise de Solos**, 2nd ed. Rio de Janeiro.

GAUTIER, J.M. 2001. **Are quartz dissolution rates proportional to B.E.T. surface áreas.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.65, p.1059-1070.

GLOBALFERT. **Cloreto de potássio - Principais origens de importação em 2018.** Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/boletins/cloreto-de-potassio-origens-de-importacao/>.

HODSON, M.E. 2006. **Does reactive surface area depend on grain size? Results from pH 3, 25°C far-from-equilibrium flow-through dissolution experiments on anorthite and biotite.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.70, p.1655-1667.

MADDOX, J. 1988. **Crystals from first principles.** *Nature*, v.335, p.201.

MAINNING, D.A.C. 2010. **Mineral source of potassium for plant nutrition; a review.** *Agon Sust Develop* 30:22-294.

MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. 2008. **Agrominerais – Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura.** In: da Luz, A.B.; Lins, F.F., eds. *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações*. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 205-223.

MELO, V.F.; CASTILHOS, E.M.V.; PINTO, L.F.S. 2009. **Reserva Mineral do Solo.** In: *Química e Mineralogia do Solo*. Viçosa: Vander de Freitas Melo & Luís Reynaldo F. Alleoni, 695p.

MENEZES, Eric José Rodrigues. **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, 2016.

METSON, A.J. 1956. **Methods of chemical analysis for survey samples.** Wellington, D.S.I.R., 207p..

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

NEUMANN, R. 2001. **Caracterização Mineralógica e Tecnológica da Rocha Potássica do Estéril da Mina Osami Utsumi, Caldas (MG).** Subsídio à Extração do Potássio, Projeto Fontes Alternativas de Potássio para Fertilizantes, CETEM-CTM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PIUZANA, D.; PIMENTEL, M.M.; REINHART, A.F.; ARMSTRONG, R. 2003. **Shrimp U-Pb and Sm-Nd data for the Araxá Group and associated magmatic rocks: constraints for the age of sedimentation and geodynamic context of the Southern Brasília Belt, central Brazil.** *Precambrian Research*, 125: 139-160.

RESENDE, A.V.; FURTINI, NETO, A.E.; MARTINS, E.S.; HURTADO, S.M.C.; OLIVEIRA, C.G. & SENA, M.C. (2012) **Protocolo de avaliação agrônômica de rochas e derivados como fontes de nutrientes às plantas ou condicionadores de solo.** Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo. 30p. (Série Documentos, 143).

RIGGS, K.S.; SYERS, J.K.; APPLETON, J.D. 1993. **Dissolution of potassium feldspar rocks in soils in open leaching and closed-incubation systems.** *Journal of Science Food Agriculture*, 62: 409-412.

ROSOLEM, C.A.; BESSA, A.M.; PEREIRA, H.F.M. 1993. **Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28:1045-1054.

SANTOS, W.O.; MATTIELLO, E.M.; VERGUTZ, L.; COSTA, R.F. 2016. **Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock.** *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(4):547-556.

SILVA, A.A.S., MEDEIROS, M.E., SAMPAIO, J.A., GARRIDO, F.M.S. 2012. **Verdete de Cedro do Abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO,** *Revista Matéria*, v.17 (3), p. 1061-1073.

SILVA, E. A. D., CASSIOLATO, A. M. R., MALTONI, K. L., & SCABORA, M. H. 2008. **Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium*.** Schott. *Revista Árvore*, p. 323-333.

SILVA, D.R.G.; MARCHI, G.; SPEHAR, C.R.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V. 2013. **Agronomic efficiency of potassium fertilization in lettuce fertilized with alternative nutrient sources.** *Revista Ciência Agronômica*, 44, n. 2: 267-277.

SONG, S.K.; HUANG, P.M. 1988. **Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids.** *Soil Science Society American Journal*, 52:383-390.

SOUZA, F. N. S.; OLIVEIRA, C.G.; MARTINS, E.S.; ALVES, J.M. **Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração.** *Revista Agri-Environmental Sciences*, Palmas –TO, v.3, n.1, 2017.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G.K; FONTANA, A; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo.** 2017. 3 ed. Brasília: EMBRAPA, 573p.

THEODORO, S.H. 2000. **Fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural.** Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB). Brasília.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Method 3052 – **Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices**. 1997.
<<http://www.epa.gov/solidwaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>.

VAN STRAATEN, P. 2006. **Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.78, n.4, p.731-747.

VON FRAGSTEIN P; PERTL W; VOGTMANN H. 1988. **Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen**. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 151: 141-146.

VON WILBERT, K; LUKES, M. 2003. **Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulphate in a spruce stand on an acidified glacial loam**. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 65:115-127.