

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

FELIPE NASCIMENTO FARIA CARDOSO

**DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO EM SOLOS TRATADOS COM PÓ DE
MICAXISTO ASSOCIADO A MICRORGANISMO SOLUBILIZADOR**

UBERLÂNDIA, MG

2023

FELIPE NASCIMENTO FARIA CARDOSO

**DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO EM SOLOS TRATADOS COM PÓ DE
MICAXISTO ASSOCIADO A MICRORGANISMO SOLUBILIZADOR**

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Araújo Hulmann
Batista

UBERLÂNDIA, MG

2023

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

C268
2023 Cardoso, Felipe Nascimento Faria, 1999-
Disponibilidade de potássio em solos tratados com pó
de Micaxisto associado a microrganismo solubilizador
[recurso eletrônico] / Felipe Nascimento Faria Cardoso.
- 2023.

Orientadora: Araína Hulmann Batista.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Agronomia.

Modo de acesso: Internet.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Batista, Araína Hulmann, 1977-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

FELIPE NASCIMENTO FARIA CARDOSO

**DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO EM SOLOS TRATADOS COM PÓ DE
MICAXISTO ASSOCIADO A MICRORGANISMO SOLUBILIZADOR**

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

Orientador: Prof. Prof.^a Dr.^a Araújo Hulmann Batista

Aprovado pela Banca Examinadora em: 31/10/2023

Banca examinadora:

Prof.^a. Dr.^a. Araújo Hulmann Batista – (ICIAG UFU)

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo – (ICIAG UFU)

Eng. Agrônomo Dr. Adílio de Sá Júnior – (ICIAG – UFU)

UBERLÂNDIA, MG
2023

Agradecimentos

Agradeço a Deus por sua orientação constante e por iluminar meu caminho. Sua força e coragem infundiram em mim a determinação necessária para persistir e alcançar meus objetivos.

A meus pais, Reginaldo e Evani, minha gratidão é eterna. Vocês me moldaram e me apoiaram incondicionalmente ao longo de toda a minha trajetória. Sua dedicação, amor e orgulho em mim são fontes inesgotáveis de inspiração.

À minha namorada, Marcelli, quero expressar minha gratidão por seu constante incentivo e presença em todos os momentos, compartilhando as alegrias e me amparando nas adversidades.

Agradeço à minha orientadora, professora Dr.^a Araújo, por sua paciência, orientação e disposição em me auxiliar ao longo deste trabalho. A minha gratidão ao Doutor Adílio, por seu valioso auxílio e orientação ao longo da minha graduação. Sua orientação e conhecimento foram inestimáveis para a conclusão deste projeto.

A meus amigos e colegas de faculdade, por terem sido parte desta jornada, compartilhando esforços e dificuldades.

À Universidade Federal de Uberlândia, a todos os professores e profissionais que, de diversas maneiras, contribuíram para a minha formação e me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

O conhecimento para uso dos remineralizadores ou pós de rocha como fonte de nutriente para as plantas permanece com muitas lacunas em relação à sua eficiência agrônômica. O presente trabalho teve como objetivo verificar a eficiência de micaxisto moído (M_{CX} , granulometria menor que 0,30 mm, com 3,7 % de K_2O total) no fornecimento de potássio (K) para o cultivo de milho (*Zea mays*) associado ao microrganismo solubilizador *Bacillus megaterium* (Bm). Foram realizados 7 tratamentos e 5 repetições em delineamento em blocos ao acaso, sendo: T₁ - tratamento controle, sem fornecimento de K_2O ; T₂ - KCl+MAP; T₃ - KCl+MAP+Bm; T₄ - M_{CX} micaxisto; T₅ - M_{CX} +Bm; T₆ - M_{CX} +KCl; T₇ - M_{CX} +MAP. Foi utilizado Latossolo Vermelho coletado em Uberlândia, MG. O solo foi corrigido com calcário dolomítico para aumentar a saturação por bases para 60% da CTC. As plantas foram semeadas em vasos contendo 1 dm³ de solo, e após a germinação completa, durante o período de 30 dias, foi fornecida solução nutritiva com omissão de K em intervalos de 7 dias. As doses de M_{CX} e KCl foram calculadas para fornecer 80 mg.dm⁻³ de K_2O a partir do teor do nutriente em cada fonte. As variáveis analisadas foram altura de planta (Ap), massa úmida (Mu), massa seca (Ms), teor de K trocável em mg.dm⁻³ (Ksolo) e teor de K foliar em g.kg⁻¹ (Kfoliar). As médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. A utilização exclusiva do M_{CX} não promoveu crescimento em altura em comparação com o tratamento com omissão de K - Ap = T₁ (49,6 cm) e T₄ (56,7 cm), inferiores aos tratamentos T₂ (62,84 cm), T₃ (58,66 cm), T₅ (60,42 cm), T₆ (61,48 cm) e T₇ (68,56 cm). Já para Mu e Ms, o T₁ apresentou as menores médias (2,93g e 0,45g, respectivamente), em relação aos tratamentos T₂ (5,64g e 0,75g), T₃ (5,33g e 0,73g), T₄ (4,38g e 0,60g), T₅ (4,76g e 0,77g), T₆ (5,76 e 0,74), T₇ (7,36 e 0,98). A utilização exclusiva do M_{CX} e M_{CX} com adição do *Bacillus megaterium*, não resultou em aumento significativo de teor K trocável no solo quando comparado com o grupo submetido à omissão de K. O padrão observado também se verificou para o Kfoliar. Os resultados indicam que, durante o período de avaliação, a combinação do microrganismo com o pó de rocha apresentou desempenho superior em relação a Ap e Mu, apesar da baixa solubilidade do M_{CX} . No entanto, considera-se que a utilização exclusiva do pó de micaxisto visando a disponibilidade de K não foi eficiente no desenvolvimento inicial da cultura do milho, mesmo quando acompanhada da incorporação de *Bacillus megaterium*.

Palavras-chave: Remineralizador, nutrição de plantas, *Bacillus megaterium*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Componentes da solução nutritiva e doses utilizadas durante o período do experimento. 13

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAL E MÉTODOS	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4	CONCLUSÃO	20
5	REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

Devido às condições químicas dos solos é importante a correção e adubação para produções eficientes econômica e ambientalmente das culturas. O Brasil é um dos pilares da agricultura mundial por ser um dos maiores produtores e exportadores de produtos agrícolas. Com isso, a agricultura continua impulsionando o crescimento econômico do país, graças ao seu considerável potencial produtivo. Deste modo, a demanda por fertilizantes é crescente, o que torna o país o terceiro maior importador de fertilizantes (FAROUTINE, 2018).

Atualmente, o Brasil ocupa o quarto lugar no consumo global de nitrogênio (N) e o terceiro lugar no consumo de fósforo (P) na agricultura, sendo responsável por 7% do consumo mundial de fertilizantes, ficando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Além disso, o país é o segundo maior consumidor de potássio (K). No período de janeiro a novembro de 2018, a entrega de fertilizantes ao mercado aumentou 3,3% em comparação com o mesmo período de 2017. No entanto, a produção nacional diminuiu 1,7%, enquanto as importações cresceram 3,2% ao comparar os anos de 2017 e 2018. Isso evidencia a alta dependência do Brasil em relação às importações de fertilizantes para atender suas demandas, com aproximadamente 70% dos fertilizantes utilizados no país sendo provenientes de importações (ANDA, 2018).

No Brasil existem duas ordens de solos que possuem uma grande expressão geográfica e são amplamente utilizados para fins agrícolas, que são os Latossolos e os Argissolos (EMBRAPA, 2018). Estes são caracterizados como solos muito intemperizados, profundos, geralmente ácidos, com baixa fertilidade natural e alta saturação por alumínio em certas situações. Este é o motivo que torna essencial a correção do pH e a aplicação de nutrientes para o bom desenvolvimento das culturas por meio da calagem e adubação. Portanto, justifica-se esta dependência do país pela importação dos produtos, especialmente o potássio (K), com mais de 90% do nutriente utilizado nos cultivos nacionais, sendo importado de países como Rússia, Bielorrússia e Canadá. No ano de 2021, mais de 35,6 milhões de toneladas de fertilizantes foram importados, de acordo com relatório da Associação Nacional para Difusão de Adubos daquele mesmo ano.

A demanda por novas tecnologias é, assim, urgente e uma das possibilidades que tem sido amplamente discutida é o uso de remineralizadores de solos. Um remineralizador é definido como qualquer substância mineral que tenha passado por processos mecânicos de redução e classificação de tamanho, e que, ao ser adicionado ao solo, altera os índices de fertilidade ao fornecer macro e micronutrientes para as plantas. Após a aprovação da nova legislação que regulamenta esta técnica, houve uma grande procura por estes insumos. A

Normativa nº05/2016 traz que os remineralizadores devem conter no mínimo 1% de K_2O ; ΣCaO , MgO e $K_2O \geq 9,0\%$ e teores de As, Cd, Hg e Pb inferiores a 15, 10, 0,1 e 200 mg/kg, respectivamente (BRASIL, 2016).

Ainda que a utilização destes insumos, aparentemente, possa apresentar benefícios, a disponibilidade de nutrientes a partir da dissolução dos minerais presentes nas rochas ainda é um desafio (MADDOX, 1988; GAUTIER et al., 2001). A aplicação de pós de rocha nas áreas agrícolas é uma possibilidade que apresenta potencial, porém, as respostas ainda são incertas e precisam de estudos mais aprofundados (THEODORO et al., 2012).

Os minerais presentes nas rochas que apresentam K em sua estrutura são interessantes como fonte do nutriente para as plantas, porém, não possuem a mesma dinâmica nos solos e disponibilidade para as plantas, como os cloretos e sulfatos (NASCIMENTO et al., 2004). De forma distinta aos fertilizantes solúveis, nas rochas, o K está presente nos minerais silicatados, como os feldspatos potássicos e minerais micáceos, que são as fontes de K mais comuns na natureza. Porém, sua liberação a partir destes minerais necessita do intemperismo, uma vez que o nutriente se apresenta na estrutura cristalina dos silicatos, ressaltando a baixa solubilidade destes minerais no ambiente do solo (SONG E HUANG, 1988).

As rochas e minerais são importantes na formação dos solos, os quais têm como função sustentar o crescimento das plantas, suprir abrigo às populações de pequenos organismos e microrganismos, como também liberar nutrientes para as plantas. Possuem importância significativa, visto que possuem nutrientes como P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes. Porém, para ocorrer eficácia na aplicação desses minerais como fonte de nutrientes, deve-se estar atento à solubilidade de cada produto e aos incrementos de nutrientes aos solos a partir do uso destas fontes (MARTINS et al., 2008; FRANÇA et al., 2011).

Rochas de diferentes origens e composições originam os remineralizadores. Apesar de serem matérias-primas disponíveis no território nacional, enquanto fertilizantes comuns são majoritariamente importados, eles possuem baixa solubilidade, o que possivelmente leva a efeitos mais lentos, de médio e longo prazos na fertilização dos solos. Estes fertilizantes alternativos têm sido aplicados ao solo puros ou combinados com fertilizantes convencionais, adubos orgânicos, compostagem, dentre outros (TAVARES, 2017).

É importante citar que a compreensão de que a utilização ou o estímulo, à liberação de nutrientes, faz parte de um conjunto de estratégias associadas ao manuseamento da fertilidade dos agroecossistemas. Ademais, os remineralizadores não são uma fonte de nutrientes que possuem o objetivo de substituir os fertilizantes industriais de alta solubilidade (THEODORO et al. 2012). Deste modo, esta prática visa reduzir os impactos negativos na balança comercial

brasileira, a partir do aproveitamento de fontes nacionais. No que se refere ao uso de adubos químicos, pode ser uma alternativa para diminuir a sua dependência, bem como, aproveitar as fontes naturais, onde eventualmente poderá diminuir os custos de produção.

A sua aplicação como fertilizante em ambientes tropicais pode ter algumas vantagens quando comparado com ambientes de clima temperado, uma vez que a reação entre os minerais e a solução do solo aumenta em função da umidade e temperatura (VAN STRAATEN, 2006). No entanto, os processos de liberação dos nutrientes para o solo são lentos (THEODORO, 2005). Por isso, há a tentativa de aumentar a solubilidade destes produtos, a partir da associação com microrganismos solubilizadores, alternativa que está sendo cada vez mais considerada visto que há a expectativa de que tenham a capacidade de solubilizar o K estrutural. Essa associação promete acelerar o processo de liberação dos nutrientes por meio da degradação mineral, contribuindo para uma maior assimilação de K pelas plantas. Para isso, os microrganismos apresentam os seguintes mecanismos na liberação de minerais de rochas: i) a produção de ácidos orgânicos e inorgânicos e ii) reações de quelação e trocas iônicas (NAHAS et al., 1990).

Ainda que haja escassez de informações disponíveis, Sattar et al. (2019) fornecem uma revisão abrangente sobre os mecanismos adotados pelas bactérias para solubilizar o K. A geração de ácidos orgânicos de elevada força, tais como os ácidos oxálico, tartárico e cítrico, assim como a liberação de íons H^+ , configuram mecanismos cruciais para a solubilização de minerais ricos em K, como os minerais micáceos e feldspatos potássicos.

O gênero *Bacillus* apresenta significativa relevância no âmbito agrícola. Suas associações simbióticas desencadeiam efeitos benéficos no contexto vegetal, englobando a potencialização da fixação nitrogenada, a capacidade de solubilização de elementos nutritivos, a biossíntese de fitormônios e o aprimoramento das características edáficas (KLOEPPER, 1999). Diversas pesquisas documentam a aplicação de microrganismos do gênero *Bacillus*, reconhecidos como produtores de hormônios capazes de induzir efeitos adversos nas plantas (KARADENIZ et al., 2006). Além disso, tais microrganismos demonstraram a habilidade de enriquecer a nutrição mineral das plantas, exercer atividades de biocontrole e incrementar a produtividade agrícola (YAO et al., 2006), sintetizar compostos metabólicos de natureza tóxica com impacto sobre nematoides, bem como, desempenhar papel relevante na solubilização de minerais (RODRIGUEZ & FRAGA, 1999).

Em relação ao nutriente K, previamente ao enfoque de seu fornecimento via aplicação de fontes alternativas como os remineralizadores, é importante compreender a dinâmica do K nas áreas cultivadas. Para a grande maioria das plantas cultivadas a exigência de K varia entre

20 e 50 g kg⁻¹ de massa seca do vegetal. O K é importante na translocação dos carboidratos sintetizados na fotossíntese, na síntese proteica e ativação enzimática (MARSCHNER, 1995). Está presente nas plantas em formas solúveis em água e, portanto, é considerado o nutriente mais móvel no sistema solo-planta (MALAVOLTA, 2006). No solo é encontrado sob quatro formas: i. o potássio estrutural, presente na rede cristalina de minerais primários; ii. não trocável disposto nas entre-camadas de alguns argilominerais do tipo 2:1; iii. trocável (retido nas cargas elétricas dos coloides); iv. na solução do solo (CURI et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2004).

Dentre as várias rochas que podem fornecer K para a agricultura, o micaxisto é uma opção. Estas rochas foram descritas originalmente na Província de Toro-Ankole, em Uganda na África (HOLMES, 1945). As rochas presentes no continente africano formam um grupo extremamente raro de rochas máficas a ultramáficas, subsaturadas em sílica, ricas em K. Os três litotipos constituintes deste grupo são o katungito, mafurito e ugandito (EDGAR, 1996). Segundo Aprosoja (2017), os micaxistos brasileiros são predominantemente encontrados nas regiões do Mato Grosso do Sul e no sul do estado de Goiás. Uma de suas características distintivas é o alto teor de sílica, o que resulta em uma baixa solubilidade.

O micaxisto tem se destacado como uma opção de fonte de K para uso na agricultura. São rochas metamórficas foliadas, com elevado grau de xistosidade e são formadas essencialmente por quartzo e minerais micáceos. Exemplos de minerais presentes no micaxisto são feldspatos, granadas, anfíbios e andaluzita. São rochas que se formam por metamorfismo regional (MAINNING, 2010).

Uma questão importante a ser considerada está relacionada com a logística de distribuição dos micaxistos. Devido aos menores teores de nutrientes nas rochas (em relação às fontes solúveis) e ainda, à lenta solubilização no ambiente, a proximidade com as minas é fundamental, para viabilizar economicamente o seu uso. O transporte desses micaxistos pode inviabilizar eles como fonte alternativa de fertilizantes, assim, o mais viável seria a recomendação de seu uso em regiões com certa abundância destes materiais. No Brasil, a maioria dos agricultores que o utilizam como fertilizantes estão restritos a alguns municípios do Mato Grosso do Sul e Goiás, justamente por serem locais com abundância destas rochas.

Como mencionado anteriormente, os íons de K presente nas rochas ficam retidos nas estruturas cristalinas dos minerais e precisam ser extraídos de alguma forma. Song e Huang (1988) comprovaram que ácidos orgânicos são muito eficientes em dissociar os íons K da estrutura dos minerais. Essa dissociação é atribuída aos íons de H⁺ dissociados e ligantes orgânicos complexantes nas soluções dos ácidos orgânicos. Os prótons H⁺ invadem a superfície dos minerais presentes nas rochas fazendo uma troca do tipo metal-próton, desestabilizando a

ligação química presente na estrutura dos cristais, liberando, assim, o K ao solo (SILVA et al., 2012)

Portanto, para que a utilização de remineralizadores esteja consolidada no Brasil e estes insumos sejam levados ao mercado como fontes suplementares aos fertilizantes solúveis, ainda é necessário compreender a cinética de liberação dos nutrientes a partir da utilização de pós de rochas, permitindo que o produto seja amplamente recomendado e utilizado em áreas agricultáveis. Neste âmbito, o objetivo com o desenvolvimento desta pesquisa é verificar a viabilidade do pó de micaxisto como fonte suplementar aos fertilizantes solúveis, em solos de Cerrado cultivados com milho (*Zea mays* L.), bem como compreender o efeito da associação com a bactéria *Bacillus megaterium* no desenvolvimento da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação de ambiente controlado da Universidade Federal de Uberlândia no campus do Umuarama, na cidade de Uberlândia, Minas Gerais.

Utilizou-se delineamento em blocos casualizados com sete tratamentos e cinco repetições, sendo: i) T1: testemunha com dose zero de K_2O ; ii) T2. KCl e MAP, que corresponde às doses de 80 mg.dm^{-3} de K_2O e 60 mg.dm^{-3} de P_2O_5 iii) T3. KCl, MAP e microrganismo solubilizador, que corresponde às doses de 80 mg.dm^{-3} de K_2O , 60 mg.dm^{-3} de P_2O_5 e 200ml de BIOMAPHOS, cuja concentração corresponde à 4×10^9 UFC/mL de células viáveis de *B. megatherium*; iv): T4. com dose de 80 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de pó de rocha micaxisto (granulometria menor que 0,30 mm, com 3,7 % de K_2O total); v) T5. com dose de 80 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de pó de rocha micaxisto com a dose de 200ml de BIOMAPHOS; vi) T6. 80 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de KCl e 80 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto, que corresponde às doses de 80 mg.dm^{-3} de K_2O ; vii) T7. MAP e micaxisto, que corresponde às doses de 80 mg.dm^{-3} de K_2O e 60 mg.dm^{-3} de P_2O_5 .

O solo foi coletado de 0 – 20 cm de profundidade na região de Uberlândia e foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 2018), apresentando as seguintes características químicas: pH em água = 5,6; capacidade de troca de cátions total ($CTC_{\text{total}} = 3,31 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$; saturação por bases (V%) = 20,77 %. Para a determinação da CTC total, foi utilizado o método do acetato de amônio a pH 7,0 proposto por EMBRAPA (2013).

Os solos foram secos ao ar por um período de 5 dias para garantir a ausência de umidade e passados por uma peneira com aberturas de 4 mm, corrigidos utilizando calcário dolomítico

(Ca/Mg) para aumentar a saturação por bases para 60%. Foram preenchidos 35 vasos de 1 dm³ com 1 kg de solo, e sacos plásticos foram utilizados para evitar possíveis perdas de nutrientes durante a condução do experimento. Com o propósito de controlar a omissão de K, procedeu-se à adição de uma solução nutritiva (conforme Tabela 1), a intervalos de 7 dias após a germinação. Isso resultou em um total de três aplicações da solução nutritiva ao longo do período experimental.

Tabela 1. Componentes da solução nutritiva e doses utilizadas durante o período do experimento.

Fonte	Aplicação (mg.dm ⁻³)
Sulfato de Amônio ((NH ₄) ₂ SO ₄)	150
Ácido Bórico (H ₃ BO ₃)	0,82
Cloreto de Manganês (MnC ₁₂ H ₂ O)	3,7
Sulfato de Zinco (ZnSO ₄ 7H ₂ O)	4,0
Sulfato de Cobre II (CuSO ₄ 5H ₂ O)	1,3
Sulfato de Ferro II (FeSO ₄ 7H ₂ O)	1,6
Molibdato de Amônio ((NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O)	0,15

Foram semeadas sete sementes do híbrido NS 88 VIP 3 de milho em cada recipiente experimental, com uma profundidade de semeadura de 5cm. Posteriormente à germinação, realizou-se o desbaste das plantas com menor desenvolvimento, resultando na presença três plantas por vaso, com o propósito de minimizar a competição por nutrientes. Essa abordagem foi adotada visando a obtenção de médias mais representativas para a análise precisa dos dados. O experimento foi conduzido por um período de 35 dias, dos quais 5 dias foram destinados à promoção da germinação uniforme das plântulas, seguidos por 30 dias destinados à absorção de nutrientes e ao desenvolvimento morfológico das plantas.



Figura 1. Alinhamento dos tratamentos da esquerda para a direita, numerados de 1 a 7 (A). Implantação dos tratamentos na casa de vegetação (B) e arranjo dos blocos (C).

As medições da altura das plantas foram realizadas 30 dias após a emergência. Posteriormente, as plantas foram removidas dos vasos, cortadas rente ao solo e pesadas para determinação da massa de matéria úmida (mMu). Após essa etapa, as plantas foram submetidas a uma lavagem com água deionizada e então colocadas em uma estufa de circulação de ar a 65°C por 72 horas, a fim de obter a massa seca (mMs)

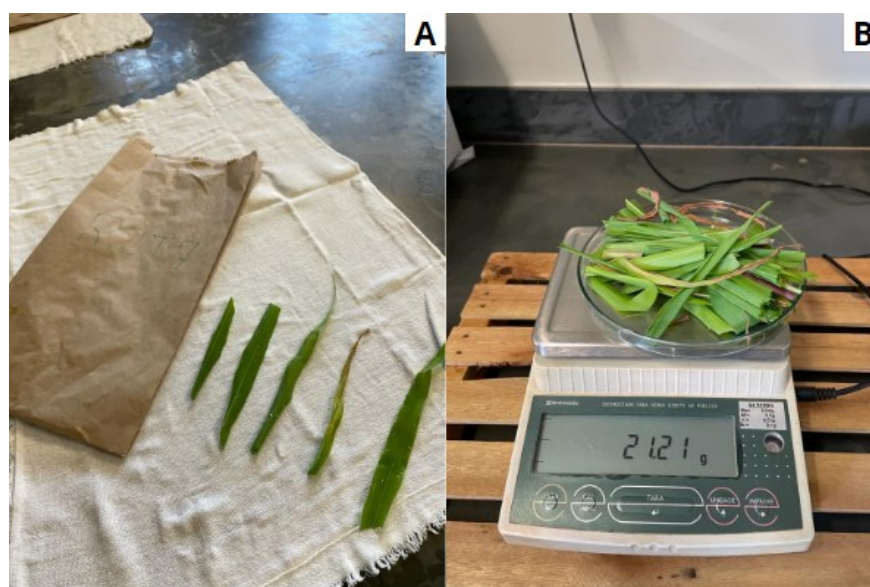


Figura 2. Preparação das amostras para a aferição da massa úmida (a) e procedimento de pesagem para determinação da massa úmida (b).

Para determinar o teor disponível de potássio (K) no solo, expresso em $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, os procedimentos realizados serão descritos a seguir (Embrapa, 2013). Os solos foram coletados dos vasos, desagregados e passados por uma peneira de 20 cm de diâmetro com malha de 2 mm. $5,0 \text{ cm}^3$ de terra fina seca ao ar (TFSA) foram dispostos em frascos de polietileno de 100 ml, aos quais foram adicionados 50 ml de extrator Mehlich-1. A agitação foi conduzida por 15 minutos em um agitador circular horizontal, operando a 200 rpm, seguida por um período de repouso de 16 horas. Após essa etapa, 10 ml do sobrenadante foram pipetados para um becker, e a leitura direta do extrato foi realizada por meio de um espectrofotômetro de emissão de chama. Para a determinação precisa dos valores em $\text{mg}\cdot\text{dm}^3$, utilizou-se o auxílio de uma solução de referência devidamente conhecida, denominada padrão. Para prepará-la, pesou-se exatamente 1,9066 g de cloreto de potássio (KCl), o qual foi dissolvido em água destilada e completado para um volume final de 1.000 ml em um balão volumétrico. Além disso, foi preparada uma solução referencial denominada de branco, com um teor nulo de potássio (K).

Para a determinação precisa do teor total de potássio (K) nas folhas, as plantas que foram removidas dos vasos e submetidas à etapa de determinação de massa úmida e seca de plantas, foram trituradas por completo em um moinho, transferindo 0,5 g do material triturado para tubo de digestão. Cada tubo recebeu 6 ml de uma solução de ácido nitro-perclórico ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$, em proporção de 4 para 0,5) e foi deixado em repouso por um período de 12 horas para promover a pré-digestão da amostra. As amostras pré-digeridas foram agrupadas e submetidas a um processo de aquecimento gradativo. Inicialmente, foram aquecidas a 50°C por 15 minutos, seguido por 75°C por mais 15 minutos, 120°C por 30 minutos, 160°C até o desprendimento completo de "fumos" avermelhados, e 210°C até a total liberação de "fumos" brancos, resultando em um extrato com volume de aproximadamente 1 ml. Após o completo resfriamento dos tubos, foram adicionados 50 ml de água destilada previamente aquecida a 60°C . A mistura foi agitada utilizando um agitador de tubos, e após a decantação das partículas suspensas, procedeu-se à leitura em fotômetro de chama.



Figura 3. Imagens das análises laboratoriais para a determinação do teor de potássio trocável no solo por Mehlich-1 (A) e digestão foliar com ácido nitro-perclórico (B).

Os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com significância de 5%. As médias foram então submetidas ao teste de agrupamento Scott-Knott, com o uso do programa SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A progressão do crescimento das plantas desde o início da fase vegetativa até a conclusão do experimento foi avaliada aos 05, 15 e 30 dias após a emergência. No entanto, nas medições realizadas no quinto dia, não foram identificadas diferenças significativas entre os cinco tratamentos, incluindo a testemunha (que não recebeu K_2O) (Figura 4).

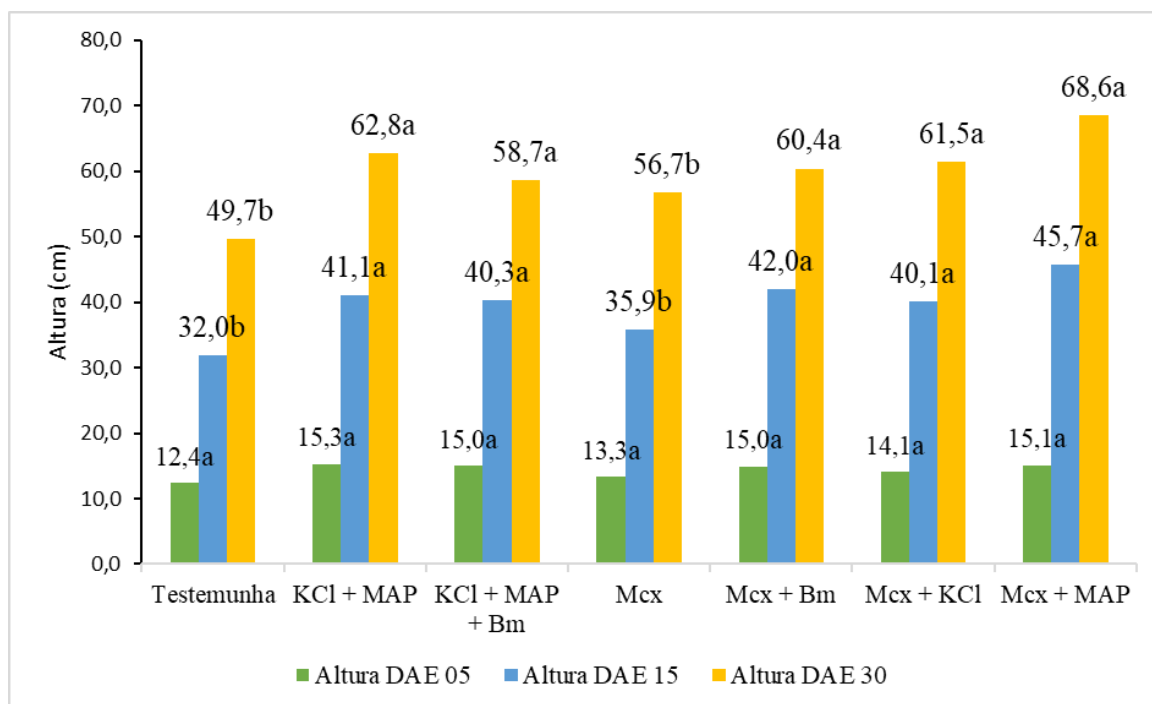


Figura 4: Valores médios para altura das plantas em cm após 05, 15 e 30 dias de crescimento em resposta aos tratamentos. i) T1. testemunha, sem adição de K_2O ; ii) T2. K_2O a partir de KCl e P_2O_5 a partir de MAP; iii) T3. K_2O a partir de KCl e P_2O_5 a partir de MAP com adição de *Bacillus megaterium*, iv) T4. K_2O a partir de micaxisto; v) T5. K_2O a partir de micaxisto com adição de *Bacillus megaterium*. vi) T6. K_2O a partir de KCl e K_2O a partir de micaxisto, vii) T7. K_2O a partir de micaxisto e P_2O_5 a partir de MAP. Letras diferentes para a mesma variável dependente apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (1974).

Contudo, no que diz respeito às médias de altura nos períodos de 15 e 30 dias, os valores revelaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. (Figura 4). Entretanto, o tratamento 4, cuja fonte de K_2O foi o micaxisto puro, não diferiu do tratamento testemunha (dose zero de K_2O). Além disso, o tratamento 5, que utilizou de pó de rocha com adição de microrganismo solubilizador (*B. megatherium*) apresentou diferenças em relação à testemunha. Mesmo comportamento foi observado para o tratamento 4 (micaxisto + KCl). Essa observação sugere que, embora insuficiente para ser comparável aos tratamentos com fonte solúvel, o pó de micaxisto com adição de microrganismo contribuiu para o desempenho desse parâmetro.

Os benefícios atribuídos ao *Bacillus megatherium* podem manifestar-se de maneira cumulativa e em uma sequência em cascata (SILVA FILHO, 2020). *B. megatherium* possui a capacidade de secretar fitormônios, o que, por sua vez, pode contribuir diretamente para o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, aumentando a absorção de nutrientes da água e promovendo uma exploração mais eficaz do recurso hídrico presente no solo (CARVALHO et al., 2011).

Em consonância com as descobertas de Silva Filho (2020), é importante destacar que certas bactérias, como *Bacillus megaterium*, demonstraram a capacidade de colonizar as raízes das plantas e solubilizar fósforo, desempenhando assim um papel significativo como promotoras do crescimento vegetal. No entanto, é crucial observar que não há evidências que sustentem a capacidade do *Bacillus megaterium* de solubilizar o potássio, uma vez que, até o momento, não existe na literatura um inoculante destinado para esse fim (PAIVA et al., 2022).

Em relação às médias de massa úmida, os valores obtidos revelam diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 5). O tratamento 4 diferiu-se do tratamento controle na avaliação de massa úmida. Além disso, o uso exclusivo do remineralizador demonstra resultados consideravelmente inferiores quando comparado aos tratamentos com fontes solúveis. Isto era esperado devido à baixa solubilidade destes produtos - as formas estruturais de K não são disponíveis para as plantas.

A solubilidade do micaxisto pode depender de vários fatores, incluindo a temperatura, composição da solução e do micaxisto em si. Esta é uma rocha metamórfica que geralmente contém minerais como mica, quartzo, feldspato e outros. A mica é geralmente um mineral insolúvel em água. Portanto, não é esperado que a mica encontrada no micaxisto sofra dissolução na solução do solo. Neste sentido, os resultados no presente estudo, indicam que a associação com os microrganismos alterou o aproveitamento das plantas que receberam o remineralizador. As médias de massa seca, o tratamento 5 apresentou diferença em relação ao tratamento 4 e ao tratamento 1 (testemunha). A inclusão do microrganismo solubilizador demonstrou um efeito positivo na avaliação desse parâmetro, o que sugere que o *B. megaterium* possui o potencial de aumentar a disponibilidade deste nutriente para as plantas.

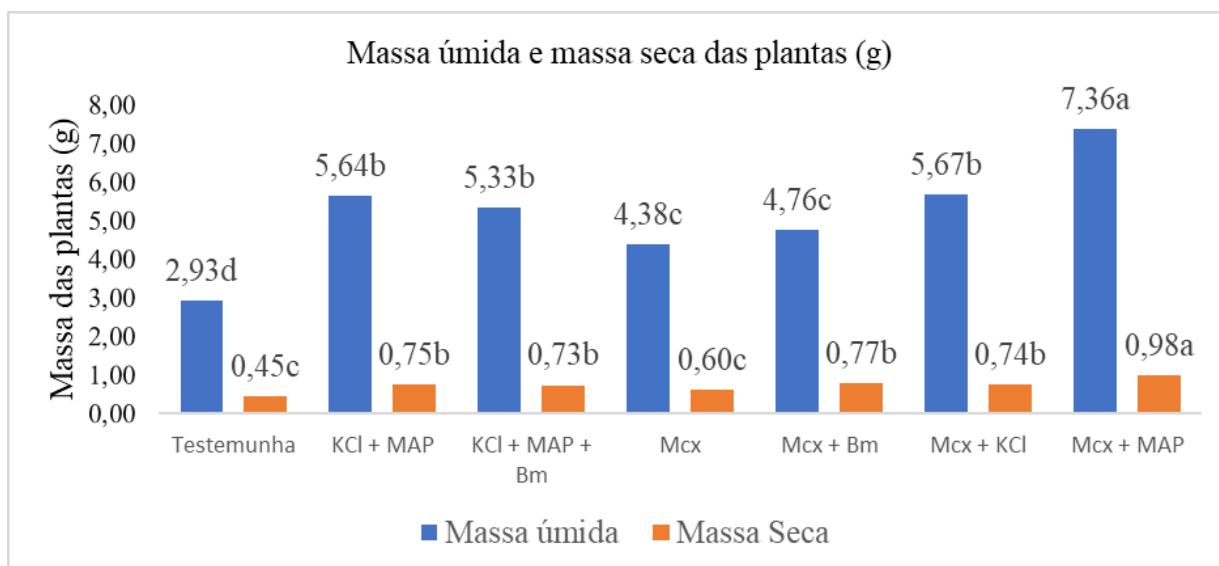


Figura 5. Valores médios em gramas para peso de massa úmida e massa seca das plantas em resposta aos tratamentos. i) T1. testemunha, sem adição de K_2O ; ii) T2. K_2O a partir de KCl e P_2O_5 a partir de MAP; iii) T3. K_2O a partir de KCl e P_2O_5 a partir de MAP com adição de *Bacillus megaterium*, iv) T4. K_2O a partir de micaxisto; v) T5. K_2O a partir de micaxisto com adição de *Bacillus megaterium*. vi) T6. K_2O a partir de KCl e K_2O a partir de micaxisto, vii) T7. K_2O a partir de micaxisto e P_2O_5 a partir de MAP. Letras diferentes para a mesma variável dependente apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (1974).

Os resultados de disponibilidade de K no solo mostram que os tratamentos 4, 5 e 7 foram iguais ao grupo controle (testemunha) (Figura 6). No entanto, é importante observar que os valores do teor de K obtidos por meio da adição de micaxisto combinados ao KCl no solo, parecem estar superestimados. Isso pode ter ocorrido devido ao método de extração utilizado (Melich-1), que devido à elevada acidez extrai o potássio presente nas entre-camadas dos minerais. Esta hipótese foi levantada por Rezende (2020) após avaliar solos incubados com micaxisto moído por meio de dois extratores (pH 2,5 e pH 7,0) e identificou expressivas diferenças em relação aos teores de K extraídos. Nota-se nos resultados apresentados, que o teor de K foliar não acompanhou os aumentos observados no solo (T6 – Figura 6).

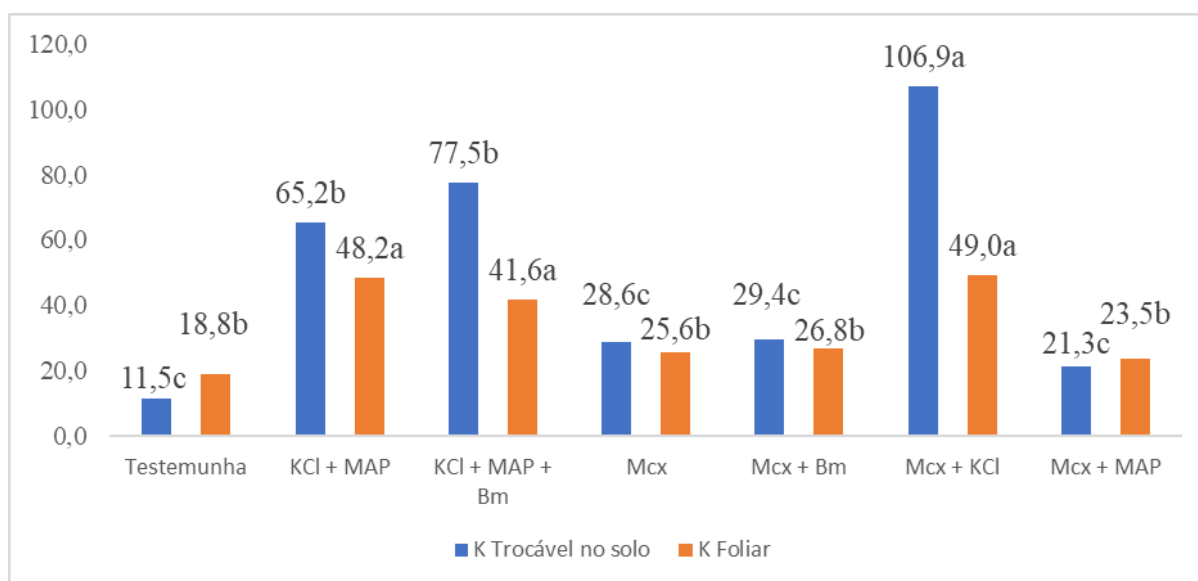


Figura 6. Valores médios em $mg \cdot dm^{-3}$ para K trocável no solo e valores médios em $g \cdot kg^{-1}$ para K foliar em resposta aos tratamentos. i) T1. testemunha, sem adição de K_2O ; ii) T2. K_2O a partir de KCl e P_2O_5 a partir de MAP; iii) T3. K_2O a partir de KCl e P_2O_5 a partir de MAP com adição de *Bacillus megaterium*, iv) T4. K_2O a partir de micaxisto; v) T5. K_2O a partir de micaxisto com adição de *Bacillus megaterium*. vi) T6. K_2O a partir de KCl e K_2O a partir de micaxisto, vii) T7. K_2O a partir de micaxisto e P_2O_5 a partir de MAP. Letras diferentes para a mesma variável dependente apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (1974).

Nesse contexto, a adição de pó de rocha e microrganismos não demonstrou ser eficaz, quando comparada com a adição de fontes solúveis de KCl. Além disso, destaca-se que o tratamento 6 apresentou uma média significativamente alta em relação aos demais tratamentos.

Essa disparidade pode ser atribuída à utilização da dose total de micaxisto, combinada com a dose completa de KCl. Este resultado reforça a ideia da baixa eficiência do micaxisto na disponibilidade de K no solo. Além disso, os resultados de K disponível relacionados ao K foliar, reforçam a necessidade de que o extrator utilizado para este elemento, em solos tratados com rochas moídas pode superestimar os teores realmente disponíveis.

4 CONCLUSÃO

A utilização exclusiva do pó de rocha não proporcionou resultados que possam fundamentar a validação de sua aplicação.

O tratamento com utilização exclusiva de micaxisto não apresentou efeito positivo no aumento dos níveis de K no solo ou na planta, acentuando ainda mais a disparidade dos resultados quando comparado com a fonte solúvel.

A adição do *Bacillus megaterium* apresentou resultados positivos na análise da altura das plantas e na massa seca. No entanto, não houve incremento de K disponível no solo quando o microrganismo foi associado ao micaxisto, nem tampouco no teor foliar.

Portanto, a partir dos resultados observados no presente estudo, a utilização exclusiva do pó de micaxisto visando a disponibilidade de K não é aconselhada para o desenvolvimento inicial da cultura do milho, mesmo quando acompanhada da incorporação de *Bacillus megaterium*.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://anda.org.br>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023

Aprosoja Brasil. **Pó de rocha começa a dar resultados em municípios de Goiás e Mato Grosso do Sul**. Disponível em: <<https://aprosojabrasil.com.br/comunicacao/blog/destaques/2017/01/23/po-de-rocha-comeca-a-dar-resultados-em-municipios-de-goias-e-ms/>> Acesso em: 02 de fevereiro de 2023

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Remineralizadores e Substratos: MAPA**. Seção 1, p. 10-11.

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E. P. de; THEODORO, S. H. **Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica?** In: Cardoso, I. M. E Fávero, C. Solos e Agroecologia. Ed. Embrapa. Brasília. ISBN: 9. 78-85-7035-774-8 p 101 -128. 2018 <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400015>

CARVALHO, E. **Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo**. SCIELO. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400015>

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T. ROBERTS, T. L. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira. Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 71-86.

EDGAR, A. D. M. **Kalsilite bearing volcanics (Kamafugites)**. In: Mitchell, R.H. (ed.) Undersaturated alkaline rocks: Mineralogy, petrogenesis, and economic potential. Winnipeg, Manitoba, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 2013. 212p.

EMBRAPA. **Solos do Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>>. Acesso em 01 de março de 2023.

Entrega de fertilizantes bate recorde no Brasil em 2021, diz Anda. CANAL RURAL, 2022. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/entrega-de-fertilizantes-bate-recorde-no-brasil/>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023

FAROUTINE, G. Eficiência agronômica 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. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23729>

FILHO, W. S. S. **Eficiência do Azospirillum brasilense associado à adubação nitrogenada sobre as características agronômicas do milho e valor nutricional de sua silagem**. UNIMONTES. 2020. Disponível em: <<https://www.posgraduacao.unimontes.br/ppgz/wp-content/uploads/sites/24/2021/06/EFICI%C3%80NCIA-DO-Azospirillum-brasilense-Walter-Filho.pdf>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B.; BERTOLINO, L. C.; SILVA, A. A. S.; BORGES, R. S. **Estudo da aplicação de minerais alternativos como fertilizantes potássicos de liberação lenta**. RRT 0002-00-11 Relatório técnico de projeto elaborado para o CNPq (CTA Agro Edital 043/2008), CETEM/MCT, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

GAUTIER, J.M. 2001. **Are quartz dissolution rates proportional to B.E.T. surface áreas**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.65, p.1059-1070 [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00570-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00570-6)

Globalfert. O fertilizante mais importado em agosto foi o Cloreto de Potássio. Disponível em: <<https://globalfert.com.br/analises/cloreto-de-potassio-foi-o-insumo-mais-importado-em-ago-2020/>>. Acesso em 01 de março de 2023

HOLMES, A. **Leucitized granite xenoliths from the potash-rich-lavas of Bunyaruguru, southwest Uganda.** *American Journal of Science*. 243A:313–332, 1945.

LOBATO, B. **Normalização viabiliza produção de remineralizadores agrícolas.** Brasília: EMBRAPA, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10926915/normatizacao-viabiliza-producao-de-remineralizadores-agricolas>>. Acesso em 02 de março de 2023.

KARADENIZ, A., TOPCUOGLU, S. F., & INCEKARA, U. R. **Plant growth promoting rhizobacteria in barley and wheat: effects on growth, disease and some physiological properties.** *Journal of Plant Nutrition*, 29(10), 173-183. 2006.

KLOEPPER, J. W. **Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents.** In: *Soil microbiology and biochemistry*, v. 5, p. 255-274, 1999.

MADDOX, J. 1988. **Crystals from first principles.** *Nature*, v.335, p.201. <https://doi.org/10.1038/335201a0>

MAINNING, D.A.C. 2010. **Mineral source of potassium for plant nutrition; a review.** *Agon Sust Develop* 30:22-294. <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p

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

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. **Rochas e Minerais Industriais - especificações e usos.** 1 a ed., CETEM/MCT, Rio de Janeiro-RJ, Capítulo 9, Agrominerais - Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura, p. 205-221, 2008.

NAHAS, E.; BANZATTO, D. A.; ASSIS, L. C. (1990) **Fluorapatite solubilization by Aspergillus niger in vinasse medium.** *Soil Biology & Biochemistry*, v. 22, n. 8, p. 1097-1101. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90035-X)

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F.E.L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 66 p. 2004. <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/579>

PAIVA, C. A.; Alves, V. M. C.; Gomes, E. A.; Sousa, S. M. de; Lana, U. G. de P.; Marriel, I. E. **Biossolubilização de Potássio por Microrganismos.** Embrapa Milho e Sorgo. Capítulo 9, p. 174. 2022.

REZENDE, F. H. S. **Liberação de Potássio a partir de micaxisto moído aplicado em solos do Cerrado.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2020. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36727>

RODRIGUEZ, H., & FRAGA, R. **Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion.** *Biotechnology Advances*, 17(4-5), 319-339. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2)

SATTAR, A., CHEEMA, M. A., MUSTAFA, A., & SHAH, S. M. A. **Microbes as Plant Growth Promoters and Biocontrol Agents.** *Microbes and Their Role in Sustainable Agriculture*, 245-269 p. 2019.

SILVA A.K.T., Guimaraes J.T.F., Lemos V.P.L., Costa M.L., Kern D.C. 2012. **Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia.** *Acta Amazonica*, 42:477-490. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000400005>

SONG, S.K., HUANG, P.M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.52, p.383-390, 1988. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200020015x>

TAVARES, L. F. **Disponibilização de potássio e silício de remineralizador pelo processo de compostagem.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Rio Parnaíba-MG, 2017. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/14027>

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 188p. (Boletim Técnico, 5). <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i6.232929>

THEODORO, S.C.H. (2005) **Fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural.** Disponível em: <http://www.universia.com.br/html/materia/materia_daih.html> Acesso em 05 de março de 2023.

THEODORO, S. H.et al. A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Brasília, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2012. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i6.232929>

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. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>

YAO, J., & ALLEN, C. (2006). **Chemotaxis is required for virulence and competitive fitness of the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum*.** *Journal of Bacteriology*, 188(10), 3697-3708. <https://doi.org/10.1128/JB.188.10.3697-3708.2006>