

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ARTHUR HENRIQUE GOMES CABRAL

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE MICAXISTO COMO FONTE ALTERNATIVA DE
POTÁSSIO NA CULTURA DO SORGO (*Sorghum bicolor*)**

UBERLÂNDIA, MG
2023

ARTHUR HENRIQUE GOMES CABRAL

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE MICAXISTO COMO FONTE ALTERNATIVA DE
POTÁSSIO NA CULTURA DO SORGO (*Sorghum bicolor*)**

Trabalho de Conclusão de Curso
desenvolvido na graduação de Agronomia
do Instituto de Ciências Agrárias –ICIAG
– da Universidade Federal de Uberlândia.

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

UBERLÂNDIA, MG

2023

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

C117 Cabral, Arthur Henrique Gomes, 1998-
2023 UTILIZAÇÃO DO PÓ DE MICAXISTO COMO FONTE ALTERNATIVA
DE POTÁSSIO NA CULTURA DO SORGO [recurso eletrônico] /
Arthur Henrique Gomes Cabral. - 2023.

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

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Batista, Araújo 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

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por me dar forças e acompanhar em toda minha trajetória acadêmica.

À minha família, a qual foi a base para conquista deste objetivo, me apoiando e dando todo o suporte durante esses cinco anos de formação acadêmica, em especial para minha Mãe Maria Aparecida Gomes, que se sacrificou para que isso tudo se tornasse real, deixando-se de lado e seus desejos em alguns momentos para fazer o melhor para família. À minha irmã Thaina Gomes Cabral, exemplo de garra e determinação, assumindo a responsabilidade da casa com minha mãe.

Ao meu pai Juvêncio Evaristo, que me apoiou e que sempre acreditou em mim, mais até do que eu mesmo.

À minha irmã mais velha Ana Caroliny e meu cunhado Tiago Moreli que me incentivaram no começo e sempre me apoiaram ao longo da graduação.

Aos meus amigos, Gustavo Silva, Airson Ludovino, Pedro Henrique, João Victor Freitas, Alex Cioquetta, Marcos Vinicius e Laura Andrade, que me ajudaram e me acompanharam em todo o processo acadêmico.

Ao professor Wedisson Oliveira Santos e aos técnicos Igor e a Jessica do LABAS pelos auxílios, explicações e disponibilidade em me ajudar sempre no que fosse necessário.

À Prof. Dra. Araína Hulmann Batista pela oportunidade de estar sob sua orientação e todo seu auxílio e tempo dedicado a me ajudar, a paciência e acolhimento me deram entusiasmo para enfrentar esse processo e fazer com que ele se tornasse uma ótima experiência para minha vida e de grande crescimento.

À Universidade Federal de Uberlândia e seu corpo docente. Pela oportunidade em concretizar o curso de Agronomia.

Sumário

1. Introdução.....	6
2. Material e métodos	11
3. Resultados e discussão	13
4. Conclusões.....	19
5. Referências.....	20

UTILIZAÇÃO DO PÓ DE MICAXISTO COMO FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO NA CULTURA DO SORGO (*Sorghum bicolor*)

RESUMO

O potássio (K) é um nutriente que atua nas reações enzimáticas, síntese proteica, fotossíntese, crescimento celular e como regulador osmótico. A planta de sorgo é uma das principais culturas de plantio de segunda safra, que conta com diversas dificuldades ambientais, tendo assim que ter todos os cuidados nutricionais para compensar fatores abióticos. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a efetividade do pó de micaxisto como fonte alternativa de potássio para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*). A pesquisa contou com três tratamentos com doses crescentes de pó de micaxisto e um com fonte solúvel de K (KCl) para comparação, além da dose zero de potássio (testemunha), totalizando cinco tratamentos com quatro repetições cada, em delineamento inteiramente casualizado. Foi utilizado Latossolo Vermelho Distrófico típico coletado a 20 cm de profundidade no município de Uberlândia, MG. As plantas foram semeadas em vasos de 1dm³ e avaliadas semanalmente depois da germinação total. Durante 30 dias em intervalos de 7 dias foi fornecida solução nutritiva completa com omissão de potássio em todos os tratamentos. As variáveis analisadas foram altura da planta (cm), massa matéria úmida (g), massa matéria seca (g), teor de K trocável no solo (mg.dm⁻³) e teor de K foliar (g.kg⁻¹), além do fósforo disponível no solo (mg.dm⁻³). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas por Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados foram superiores para a fonte solúvel (KCl), porém, os tratamentos com pó de rocha mostraram respostas positivas, apesar do baixo teor de K disponível no solo.

Palavras-chave: pó de rocha; remineralizador; intemperismo; fertilizante alternativo.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo é uma cultura bastante importante economicamente para o Brasil e vem ganhando cada vez mais espaço no campo, graças às características específicas de adaptação a períodos curtos e déficit hídrico. É utilizado principalmente como cultura de segunda safra em sucessão à soja e milho, fornecendo para o mercado grãos de qualidade, em uma época que o setor agropecuário sofre com a falta de chuva. Apresenta, também, diferentes tipos - granífero para produção de grãos, sorgo forrageiro para produção de silagem, sorgo de corte, pastejo para uso direto como forragem e o sorgo sacarino para produção de etanol. (Menezes, 2021).

No Brasil na safra 2019/2020 foi cultivada uma área total de 835 mil hectares com plantio de sorgo, alcançando 2,5 milhões de toneladas de grãos (Conab, 2019). Segundo a Conab o Brasil é o 9º maior produtor de sorgo, ficando atrás de países como: Estados Unidos, Nigéria, México, Índia, entre outros, mostrando que ainda há potencial de

aumento de produção para desenvolvimento de mercado.

A cultura pode atuar como adubo verde em plantio direto, pois, os restos culturais podem proporcionar diversos benefícios como proteção da incidência solar sobre o solo, redução nos impactos causados pelas gotas de chuva, aumento da atividade microbiana, aumento do teor de matéria orgânica do solo e melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos dos solos (Teixeira, 2016). Como é preferencialmente cultivado após as culturas de verão, como soja e milho, o que se denomina de cultivo de safrinha, é geralmente inviável economicamente a aplicação de fertilizantes, deixando com que este aproveite os nutrientes remanescentes das safras. Entretanto, como qualquer espécie vegetal, tem demandas nutricionais que não devem ser negligenciadas, apesar do elevado custo dos fertilizantes comuns.

O plantio de grãos teve grande aumento na região do Cerrado, um dos maiores biomas do país, ocupando cerca de 25% de todo o território nacional, com características tropicais e bem próprias, segundo (INOCÊNCIO, 2010; CARVALHO, 2021). Estas áreas só podem ser cultivadas desde que haja a correção da acidez do solo e a adubação com macronutrientes, isto devido a baixa fertilidade natural imposta pelas características dos solos muito intemperizados do bioma (MALAVOLTA et al, 2012). Assim, a partir do uso destes insumos, a região do Cerrado tem se tornado grande produtora de espécies cultivadas de muita importância econômica, que com manejo adequado tem obtido recordes de produtividade e atualmente é fundamental para a agricultura e economia brasileira.

Dentre os nutrientes, o potássio (K) ocupa o segundo lugar em necessidade das culturas, com exportação em média de 4 a 6 kg de K_2O por tonelada de grão, variando de acordo com o nível de produtividade atingido (é bastante móvel nas plantas), sendo responsável pelo controle do potencial osmótico de acordo com Marschner (1995). Com base nestas características, está presente em todas as partes da planta, cujos tecidos ficarão no campo como forma de palhada, entretanto, devido a elevada mobilidade do nutriente, este é facilmente perdido por lixiviação, não sendo a matéria orgânica fonte de K.

Em estudo avaliando as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distroférico típico na região do Cerrado, Souza e Alves (2003) observaram a dificuldade de manejo e condução de algumas culturas, apesar das propriedades físicas dos solos possibilitarem agricultura mecanizada intensiva e o solo poder ser facilmente corrigido com práticas de calagem, gessagem e adubação. Outras práticas como plantio direto e cultivo mínimo, associados à rotação de cultura são capazes de aumentar os teores de

matéria orgânica e capacidade de troca de cátions no solo (PAIVA et al., 1997), proporcionando melhores condições de plantio e manejo para as áreas cultivadas.

Segundo o trabalho de Torres (2008) para avaliar a dinâmica do K nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado, foi verificado em amostra na camada arável 0-20 cm o teor de K disponível de 1,9 cmol_c/dm³, teor muito bom de acordo com o manual de calagem e adubação 5^a aproximação (ALVAREZ, 1999). O autor verificou que este teor médio foi maior do que o encontrado em áreas sem palhadas, como encontrado no trabalho de Santos (2008) de 0,09 cmol_c/dm³. Na mesma direção Costa et al. (2004) destacaram a importância da cobertura no solo e a dinâmica do nutriente K no solo, tendo em vista sua natureza iônica e como os processos de decomposição da matéria orgânica podem proporcionar a reciclagem deste nutriente. Apesar de sua alta mobilidade, o aumento da capacidade de troca de cátions promovido pelo incremento de matéria orgânica ao solo, melhora a retenção de K nas cargas elétricas da fase sólida e sua disponibilidade nos primeiros centímetros do solo.

O K é um dos elementos químicos mais presentes na crosta terrestre, estando classificado como o 7^o elemento mais abundante. Pode ser encontrado em diversos ambientes, em rochas, solos, oceanos e lagos. Na maioria das vezes se encontra em teores baixos nos solos e em maiores quantidades em minerais silicatados e nos depósitos evaporíticos. Segundo Oliveira (2009) os principais compostos evaporíticos de K são a silvita (KCl), contendo 63% de K₂O; a carnalita (KCl.MgCl₂.6H₂O), contendo 17% de K₂O; a cainita (KCl.MgSO₄.3H₂O), contendo 19% de K₂O; a langbeinita (K₂SO₄.2MgSO₄), contendo 23% de K₂O; a polialita (K₂SO₄.MgSO₂CaSO₄.2H₂O), contendo 15,6% de K₂O; a schoenita (K₂SO₄.MgSO₄.6H₂O), contendo 23,4% de K₂O e a singernita (K₂SO₄.CaSO₄.H₂O), contendo 28% de K₂O.

O K pode ser encontrado nos solos como K estrutural, não-trocável, trocável e na solução. O K estrutural está presente na estrutura cristalina de alguns minerais primários, caracterizado pela maior fração de teores de potássio no solo e representa a capacidade potencial de suprimento deste nutriente às plantas (ERNANI et al., 2007). O K não-trocável é a forma que está fortemente ligada nas entre-camadas dos argilominerais 2:1, não sendo prontamente disponível para as plantas, o que vai depender da dinâmica físico-química do solo e das características da fase sólida. O K trocável é caracterizado por estar eletrostaticamente ligado à superfície reativa dos colóides da fase sólida em equilíbrio com o K da solução (Ernani et al., 2007). Estas duas últimas formas do nutriente no solo

são as de maior interesse agrônomo, uma vez que são as formas prontamente disponíveis às plantas.

As metodologias utilizadas para determinar os teores de K no solo vêm se aprimorando de acordo com a eficiência econômica e operacional, visando a melhor determinação nos diferentes “compartimentos” do solo (NACHTIGALL & VALL, 1991). Os teores são definidos a partir de extratores químicos que simulam a absorção da planta durante todo o período da cultura. Há diversos extratores utilizados e algumas regiões e estados que utilizam métodos diferentes entre si, porém, os mais comuns em laboratórios de rotina são o Mehlich 1 (SILVA et al., 1998) e resina (RAIJ et al., 2001) que quantificam o K disponível (formas - trocável e em solução). Entre outros métodos há o Mehlich 3 que promove diferentes mecanismos de troca catiônica, porém não tão utilizado devido a maior sensibilidade às variações de solo (BORTOLON & GIANELLO, 2008), e o extrator cloreto de cálcio (CaCl_2) que correlaciona melhor com as concentrações encontradas pelas plantas, porém não simulam as condições normais do solo em seu procedimento (KORNDÖRFER et al., 2004).

A principal fonte potássica utilizada na agricultura é o cloreto de potássio KCl, tendo em média 55% de K_2O com características de disponibilidade rápida às plantas, e por isso, tornou-se a fonte mais utilizada do nutriente, apresentando limitações, especialmente em relação aos elevados custos (COSTA, 2020). Ressalta-se um mercado de adubos com preços crescentes e diversos fatores que afetam a demanda, como destaca Ott (2012, apud Ogino, C. M., Costa Junior, G., Popova, N. D., & Martines Filho, J. G., 2021) “os preços dos fertilizantes são derivados das interações entre oferta e demanda, do custo de produção, da taxa de câmbio do dólar norte-americano, do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e da disponibilidade dos recursos naturais mundiais”. Desta forma, existe então a preocupação com a possibilidade de escassez de fertilizantes solúveis para utilização na agricultura, ou apenas substituição para práticas mais acessíveis e de baixo custo.

Neste contexto, fontes alternativas de nutrientes têm sido pesquisadas, e entre estas, os pós de rocha ou remineralizadores de solo. Estes materiais são oriundos de minerais com a presença de alguns nutrientes, cujas minas são localizadas próximas às áreas de cultivo. É válido mencionar que a solubilidade dos minerais é muito inferior ao nutriente fornecido por meio de fertilizantes solúveis, como o KCl. Além disso, a utilização de pós de rocha como fonte de nutrientes para as plantas cultivadas ainda apresenta respostas pouco claras. Os elementos químicos presente nestes materiais,

apresentam-se na estrutura cristalina dos minerais, que na natureza, dependem do intemperismo para se tornarem disponíveis. Portanto, o aproveitamento pelas culturas, especialmente as de ciclo curto, é restrito pela velocidade lenta de liberação, variável conforme a fonte mineral utilizada e condições ambientais.

Assim, a principal problemática da utilização dos pós de rocha é a incerteza referente ao tempo e quantificação de nutrientes liberados na solução, como explicado por Silva (2012) sobre a dinâmica e os fatores que auxiliam na solubilização do potássio em alguns pós de rochas. Alguns estudos, como de Ehlers (2014) e Ribeiro (2010) com rochas silicatadas, demonstram que os remineralizados podem apresentar alguma contribuição para melhoria da qualidade dos solos, mas as doses e métodos de aplicação permanecem incertas.

Um dos pós de rocha comercializados como fonte de K na região do Triângulo Mineiro é o pó de micaxisto. Sobre o micaxisto, Vilela (2019) diz que “é um tipo de rocha metamórfica derivada de outra preexistente e de alterações químicas e físicas devido a mudanças de pressão (P) e temperatura (T), além das ocorrências causadas por ação da água”. Araújo (2008) descreve que “os micaxistos são rochas de estrutura com xistosidade acentuada, formadas a partir das alterações de minerais presentes nas rochas originárias, como por exemplo quartzo, feldspatos mica (muscovita e/ou biotita) podendo conter granadas, estauroilite, silimanite e horneblenda”. Outras rochas utilizadas e estudadas na região são descritas em trabalhos como o de Faroutine e Georgy (2018), cuja conclusão foi de que os materiais apresentam bom potencial para que estes produtos sejam utilizado como fonte de K e fósforo (P), especialmente como complemento às fontes solúveis como KCl e os adubos fosfatados solúveis. Segundo Chien et al. (2009) as rochas fosfáticas têm melhor desempenho para serem solubilizadas em culturas de ciclo longo ou perene em comparação às de ciclo curto.

Tendo em vista a problemática da falta de dados e estudos referentes à liberação de nutrientes na solução do solo a partir dos remineralizadores de solo (pós de rocha), torna-se importante a avaliação do efeito destes produtos nos atributos de solo e plantas, para então de forma científica, possibilitar a viabilidade de sua recomendação e uso. Com base em estudos anteriores e alguns resultados positivos do uso destes produtos em áreas cultivadas (CHIEN et al, 2009; RIBES, 2012; JUNIOR, 2022), acredita-se que a utilização do pó de micaxisto, possa ser complementar para o fornecimento de nutrientes em áreas cultivadas e proporcionar algumas melhorias no desenvolvimento das plantas.

Considerando o exposto, o presente projeto de pesquisa foi elaborado com o

objetivo de avaliar o efeito da utilização do pó de micaxisto e compreender a eficiência na liberação de potássio para cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação de ambiente controlado, no campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, localizado na cidade de Uberlândia -MG (Figura 1).

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições, em vasos de 1 dm³, totalizando 20 unidades experimentais. O solo foi coletado na profundidade de 0 – 20 cm, no município de Uberlândia, Minas Gerais, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 2018), escolhido devido aos baixos teores naturais de K. Os tratamentos foram divididos em: i) testemunha com dose zero de K₂O; ii) tratamento 2 com KCl, que corresponde à dose de 200 mg.dm⁻³ de K₂O; iii) tratamento 3 com dose de 200 mg.dm⁻³ de K₂O a partir do pó de rocha micaxisto; iv) tratamento 4 com dose de 400 mg.dm⁻³ de K₂O a partir do pó de rocha micaxisto; v) tratamento 5 com dose de 800 mg.dm⁻³ de K₂O a partir do pó de rocha micaxisto.



Figura 1. Disposição dos tratamentos na casa de vegetação.

Os solos foram secos e passados em peneira de malha 4 mm, corrigidos com mistura de Ca/Mg na proporção de 4/1, a partir de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio com antecedência de 12 meses, e, na pré-semeadura foi realizada adubação fosfatada (superfosfato triplo) em todos os tratamentos, misturando o volume total dos

solos. Para controle da omissão de K foi realizada a adição de solução nutritiva (Tabela 1) com intervalo de 7 dias após a germinação, totalizando 3 aplicações de solução nutritiva durante o período (Novais et al., 1991). A umidade dos vasos foi mantida na capacidade de campo durante todo o experimento.

Tabela 1. Componentes da solução nutritiva e doses utilizadas.

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 (MnCl ₂ 4H 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 dez sementes de sorgo por vaso e após a germinação houve o desbaste das plantas de menor desenvolvimento, deixando apenas 3 plantas por vaso para evitar o fator competitividade por nutrientes e obtendo médias mais fiéis para análise dos dados. O experimento permaneceu por 40 dias na casa de vegetação sendo 10 dias considerados para germinação homogênea das plântulas e 30 dias para absorção de nutrientes e desenvolvimento morfológico das plantas.

A altura das plantas foi obtida com 14, 21 e 30 dias, posteriormente, as plantas foram retiradas dos vasos com corte rente ao nível do solo e pesadas para obtenção da massa matéria úmida (*mMu*). Após isso as plantas foram lavadas em água deionizada e levadas para estufa de circulação de ar a 65°C por 72 horas para obtenção de massa seca (*mMs*).

Os tecidos das plantas, após secos e pesados foram moídos finamente, passados em peneira de malha 0,149 mm e utilizados para obtenção da concentração de K por meio de digestão ácida. Para isto, 0,5 g do material foram colocados em tubos de vidro de 50 mL (Figura 2) e adicionados HNO₃/ HClO₄ na proporção de 3:1 (digestão nitroperclórica) (MILLER & KALRA, 1998), os tubos foram então levados ao bloco digestor na temperatura de 160° C até o clareamento da solução, e o K determinado em equipamento de fotometria de emissão de chama. Para determinação do nutriente, o

extrato obtido foi diluído (7/1), para que a concentração de K da solução permanecesse dentro da curva padrão preparada.

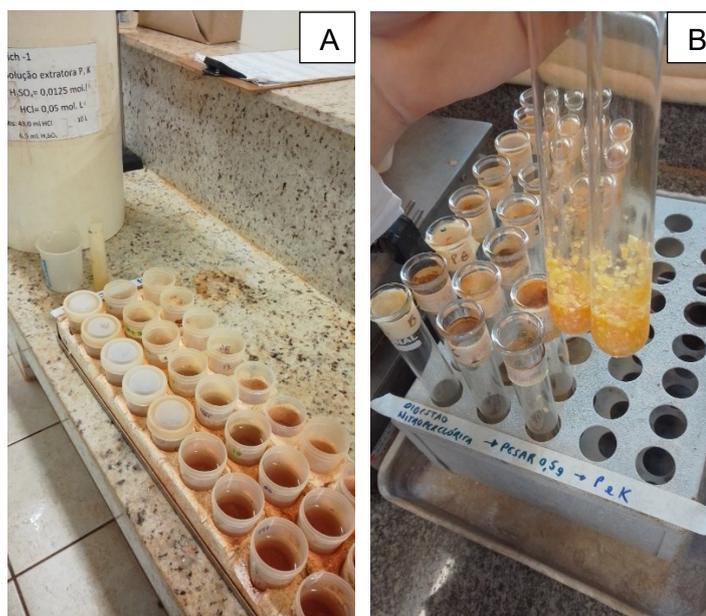


Figura 2. Imagens das análises laboratoriais de determinação do teor de potássio disponível no solo por Mehlich-1 (A) e teor de potássio foliar por digestão nítrico-perclórica (B).

Após a retirada das plantas, os solos foram secos ao ar para avaliação dos teores de K trocável e P disponível por meio do extrator Mehlich 1 pelo método descrito no manual de métodos e análises de solos e plantas da Embrapa (2011).

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância para então realizar a análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas por Tukey a 5% de probabilidade ($\alpha=5\%$) com o uso do programa estatístico SISVAR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise de altura em três datas diferentes foi possível observar a dinâmica de crescimento das plantas desde o início da fase vegetativa até o final do experimento, totalizando o período de 30 dias a partir da germinação. Com 14 e 21 dias, não houve diferença significativa entre os cinco tratamentos, incluindo a testemunha (dose zero de K) (Figura 3).

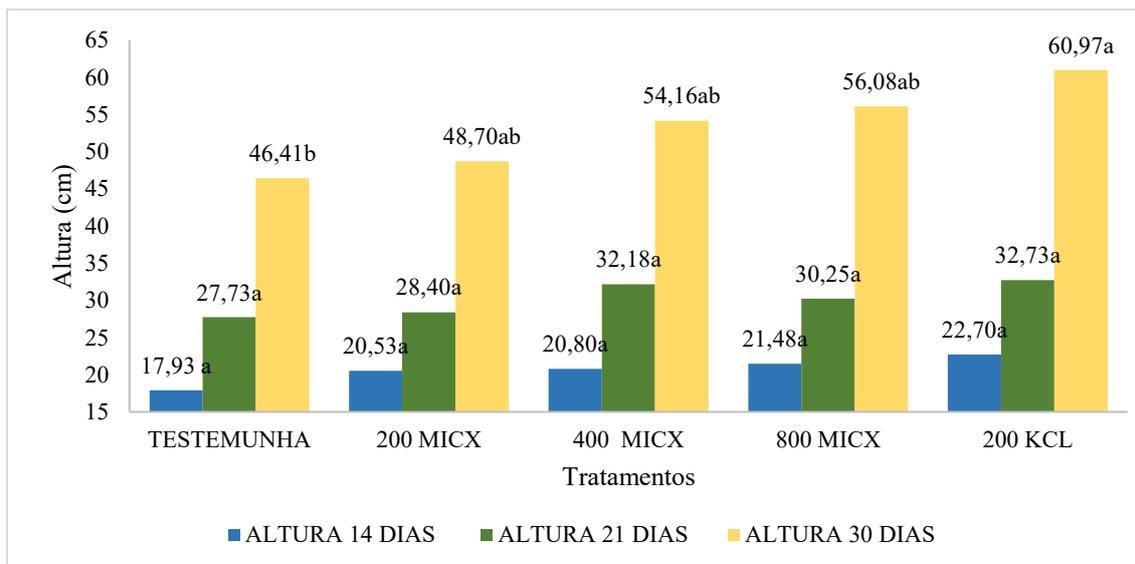


Figura 3: Valores médios para altura das plantas em (cm) após 14, 21 e 30 dias em resposta aos tratamentos. i) testemunha, sem adição de K_2O ; ii) tratamento 2 com 200 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de KCl; iii) tratamento 3, 200 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto; iv) tratamento 4, 400 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto; v) tratamento 5, 800 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto. Letras diferentes apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ($\alpha < 0,05$).

As respostas não significativas deste período podem ser explicadas pela marcha de absorção da cultura, sendo crescente com o desenvolvimento da mesma (Figura 4). No sorgo a dinâmica de absorção dos nutrientes é distinta em diferentes momentos da fase vegetativa, sendo exponencial ao longo do ciclo, ou seja, há o aumento da absorção conforme o desenvolvimento da planta. Com destaque entre os estágios V7 e V12, e, posteriormente na fase reprodutiva (COELHO, 2002).

Porém, para as médias de altura, com 30 dias, os valores obtidos foram estatisticamente significativos com diferença entre as médias, como observado na figura 3. O tratamento 2 com fonte solúvel de K_2O (KCL), diferiu-se estatisticamente da testemunha (dose zero de K_2O). Os tratamentos que tiveram como fonte o pó de rocha micaxisto não se diferiram da testemunha dose zero e do tratamento com fonte solúvel (KCl), demonstrando que há, apesar de insuficiente para serem comparados com o tratamento 2, liberação de K_2O a partir do pó de micaxisto. Houve o aumento da altura de acordo com o aumento da dose, demonstrando que quanto maior a dose de micaxisto, maior foi liberação do nutriente.

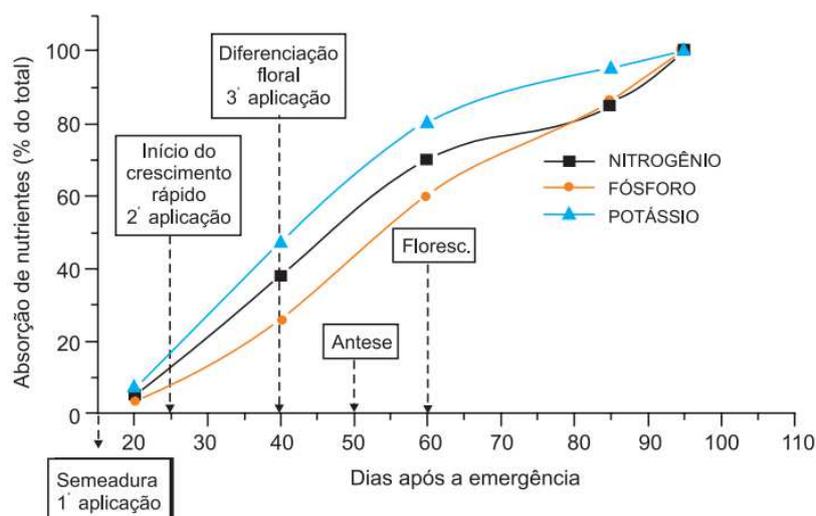


Figura 4. Absorção de NPK pelo sorgo. As 1^a, 2^a e 3^a aplicações referem-se aos períodos normalmente recomendados para aplicação de fertilizantes (modificada de TISDALE et al., 1985).

Para a análise de *mMu* e *mMs* foram observados resultados estatísticos semelhantes, como mostra a figura 5, onde os valores médios para o tratamento 5, com 800 mg.dm⁻³ de K₂O a partir do pó de micaxisto, e o tratamento 2, com fonte solúvel (KCl), foram superiores aos tratamentos dose zero (testemunha) e tratamento 3 (200mg.dm⁻³ de K₂O a partir de micaxisto).

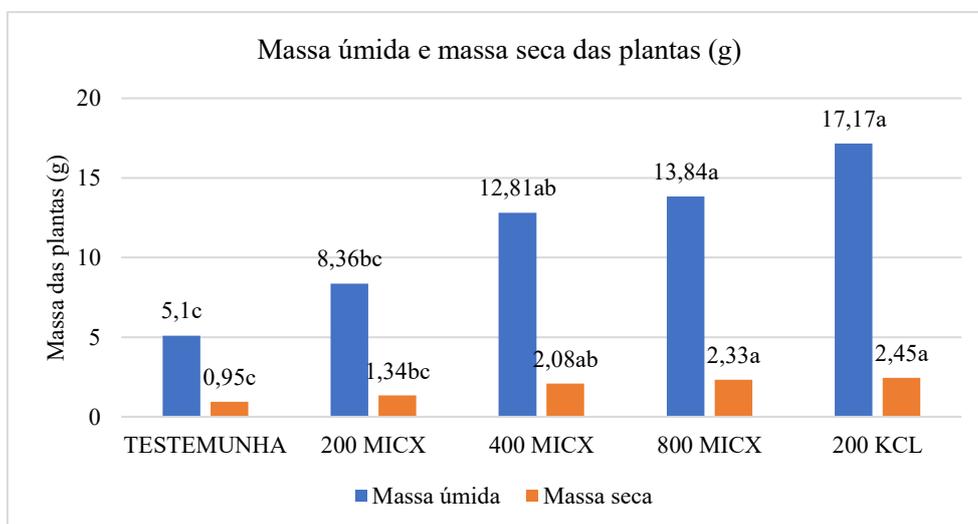


Figura 5. Valores médios em gramas para peso de massa úmida e massa seca das plantas em resposta aos tratamentos. i) testemunha, sem adição de K₂O; ii) tratamento 2 com 200 mg.dm⁻³ de K₂O a partir de KCl; iii) tratamento 3, 200 mg.dm⁻³ de K₂O a partir de micaxisto; iv) tratamento 4, 400 mg.dm⁻³ de K₂O a partir de micaxisto; v) tratamento 5, 800 mg.dm⁻³ de K₂O a partir de micaxisto. Letras diferentes apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ($\alpha < 0,05$).

Para as análises dos teores de K disponível no solo e K foliar, ambos foram

significativos para análise de variância (ANOVA) e teste de médias, (tabelas 2 e 3), respectivamente. Destaque para o tratamento com fonte solúvel de K (KCl) cujo tratamento obteve a maior média entre os tratamentos nos solos e plantas (Tabela 4), sendo superior a todos os outros tratamentos. A fonte solúvel é mais eficiente para o fornecimento de K_2O em relação ao micaxisto. Isto era esperado, uma vez que os pós de rocha, como mencionado anteriormente, possuem os nutrientes em suas formas estruturais, ou seja, não disponíveis, necessitando de maior intervalo de tempo para o fornecimento de K e outros nutrientes, demandados pelas plantas cultivadas. Porém, há um descompasso entre os resultados observados nos teores disponíveis no solo e o crescimento das plantas, refletidos na altura, mMu e mMs (Tabela 4, Figuras 3 e 5) além de que os valores de K foliar diferiram-se entre os tratamentos que receberam pó de micaxisto e a testemunha (Tabela 5).

Tabela 2: Análise de variância para teor de potássio no solo após 40 dias da semeadura na cultura de sorgo.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Valor p
TRATAMENTO	4	25961,52	6490,38	544,92	0
erro	15	178,66	11,91		
Total corrigido	19	26140,18			
CV%	17,84				
Média geral	19,34				
Número de observações	20				

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; Fc:estatística f; CV: Coeficiente de variação; valor p: nível de significância.

Tabela 3: Análise de variância para teor de potássio foliar após 40 dias da semeadura na cultura de sorgo.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Valor p
TRATAMENTO	4	3827,57	956,89	36,92	0
erro	15	388,73	25,92		
Total corrigido	19	4216,30			
CV%	27,7				
Média geral	18,38				
Número de observações	20				

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; Fc:estatística f; CV: Coeficiente de variação; valor p: nível de significância.

É preciso avaliar com maior cuidado a dinâmica entre absorção dos nutrientes pelas plantas e métodos de análise de teores disponíveis no solo, quando se trata do

fornecimento dos nutrientes via fontes alternativas. Segundo Alves et al. (2021) existem interações ainda pouco definidas entre sistema radicular e a matriz sólida do solo, além da presença de microrganismos que possibilitam que a planta aproveite os nutrientes com maior eficiência a partir de minerais presentes na fase sólida, mesmo que estes, não estejam sendo detectados pelos métodos convencionais de análise dos solos, como a solução extratora de Mehlich 1. Estes extratores possibilitam a mensuração de elementos que estão na fase trocável dos solos, geralmente com maior fidelidade ao elemento fornecido mediante adubação com fontes solúveis, o que não é o caso dos nutrientes presentes na estrutura cristalina dos minerais dos pós de rocha.

Outra possibilidade, é de que a baixa disponibilidade de K, nos solos tratados com pó de micaxisto, promovesse, com o crescimento e aumento da demanda do nutriente pelas plantas, a deficiência de K nos estágios mais avançados, caso o tempo de duração e avaliação do experimento fosse mais longo. Isto levaria a decréscimos substanciais na produtividade da cultura, causando prejuízos consideráveis ao produtor.

Tabela 4: Teores médios de potássio trocável nos solos, obtidos por extração com Mehlich 1 ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) em resposta aos tratamentos com KCl ($200 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de K_2O) e pó de micaxisto nas doses de 200, 400 e 800 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de K_2O .

TRATAMENTOS	K trocável ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)
200 MICX	1,04 b
TESTEMUNHA	1,04 b
400 MICX	1,34 b
800 MICX	1,89 b
200 KCL	91,40 a

Os tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($\alpha < 0,05$).

Referente ao teor de potássio encontrado nos tecidos foliares das plantas de sorgo foi possível verificar aumento linear nos valores encontrados (Tabela 5), ou seja, os valores foram crescentes de acordo com o aumento da dosagem de K fornecido a partir do micaxisto. Com destaque novamente para a fonte solúvel (KCl) com a melhor média, o que era esperado, considerando a alta solubilidade e o pequeno período de avaliação. As maiores médias foram seguidas pelo tratamento 5 que diferiu dos tratamentos 1 (testemunha) e tratamento 3 ($200 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de potássio como fonte micaxisto). O tratamento 4 não teve diferença significativa em relação aos tratamentos 3 e 5, mas foi melhor em relação à testemunha (dose zero de K). Segundo Alvarez (1998), os teores de potássio foliar adequados para cultura do sorgo são de $1,3 - 3,0 \text{ dag}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($13\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} - 30\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

1). Desta forma os tratamentos: 4, 5 e 2, respectivamente, satisfazem esses teores para esta fase inicial da cultura.

Tabela 5: Teor médio de potássio na parte aérea das plantas (g.kg^{-1}) em resposta aos tratamentos com KCl e pó de micaxisto nas doses de 200, 400 e 800 mg.dm^{-3} .

TRATAMENTOS	K FOLIAR (g.kg^{-1})
TESTEMUNHA	4,77 d
200 MICX	6,98 cd
400 MICX	16,22 bc
800 MICX	20,38 b
200 KCL	43,54 a

MICX – micaxisto. Os tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($\alpha < 0,05$).

O teor de fósforo no solo não apresentou diferença significativa entre nenhum dos tratamentos (Figura 6), o que era esperado, uma vez que todos os tratamentos receberam as mesmas quantidades de fósforo via adubação com ST no momento da semeadura.

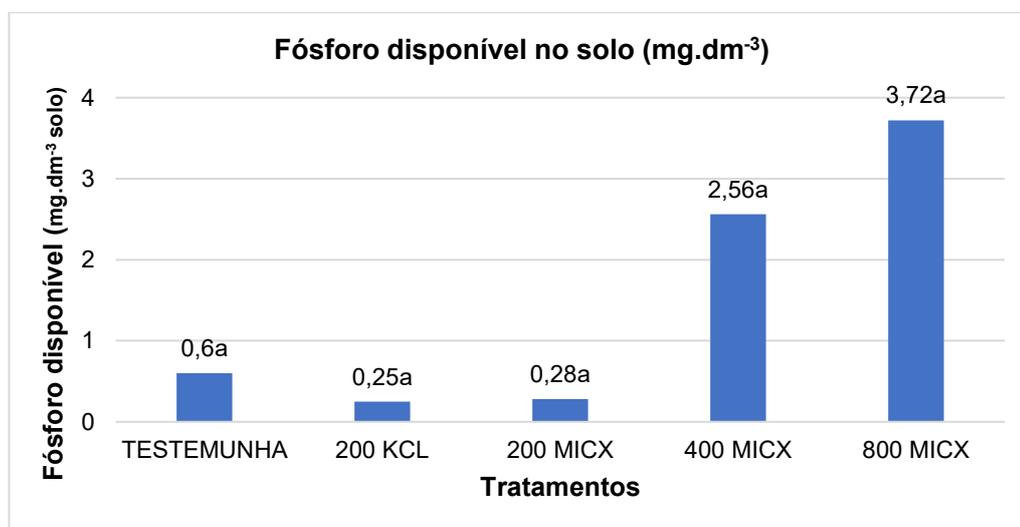


Figura 6. Teores disponíveis de fósforo nos solos, obtidos por Mehlich 1. i) testemunha, sem adição de K_2O ; ii) tratamento 2 com 200 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de KCl; iii) tratamento 3, 200 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto; iv) tratamento 4, 400 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto; v) tratamento 5, 800 mg.dm^{-3} de K_2O a partir de micaxisto. Letras diferentes apresentam diferença estatística entre si pelo teste de Tukey ($\alpha < 0,05$).

Entretanto, é visível que os tratamentos 4 e 5, que receberam as maiores doses de micaxisto, obtiveram médias muito superiores aos demais. Apesar disso, a análise dos

dados não resultou em diferença estatística significativa. Isto pode ser explicado pelo elevado coeficiente de variação (CV%) para esta variável – 147%. A explicação para este elevado CV% é de que os resultados de P disponível obtidos no tratamento cinco para as repetições (R) R1, R2, R3 e R4 foram 9,69; 2,55; 1,02 e 1,62 mg.dm⁻³, respectivamente. Alguns fatores podem ter levado a estas respostas: i) pode ter havido erro aleatório no momento da realização das análises laboratoriais, possivelmente devido a alguma contaminação ou erros na extração/determinação; ii) um dos minerais acessórios do micaxisto é a apatita, rica em fósforo e solúvel em meio ácido. Sabe-se que o extrator Mehlich 1, comumente utilizado nas análises de P disponível em solos ácidos, possui pH abaixo de 2,0, o que pode ter causado a dissolução de alguma partícula mineral rica em fósforo, superestimando os valores disponíveis obtidos nas análises do nutriente. Souto e colaboradores (2023) (dados ainda não publicados), em trabalho avaliando a disponibilidade de K e P em solos tratados com kamafigito e micaxisto, utilizaram dois distintos extratores para K disponível (Mehlich 1 – ácido, e acetato de amônio – de pH 7,0) obtendo resultados completamente distintos para cada extrator, sendo o primeiro responsável por teores muito superiores de K em relação ao extrator de maior alcalinidade. Os autores concluíram que o extrator mais ácido solubilizou formas estruturais e não disponíveis dos nutrientes, e que os resultados certamente não refletem a real disponibilidade para as plantas nas áreas cultivadas. Isto é importante ser considerado, pois, pode levar a equívocos graves nas recomendações destes nutrientes, caso as análises de solos tratados com pós de rocha sejam as mesmas utilizadas para os solos altamente intemperizados e de elevada acidez.

4. CONCLUSÕES

Nas avaliações realizadas o pó de rocha micaxisto não mostrou ser uma fonte de K comparável ao KCl. A fonte solúvel mostrou-se superior em quase todas as médias analisadas.

Pela dinâmica de crescimento da planta, os tratamentos não se diferiram nos primeiros dias de cultivo, apresentando melhora importante a partir da fonte solúvel KCl após o trigésimo dia em relação à testemunha, e se igualando em altura aos outros tratamentos.

O teor de potássio trocável no solo foi significativamente superior a partir do KCl em relação todos os outros tratamentos.

Os parâmetros de massa matéria úmida e seca foram similares entre os tratamentos 2 e 5, sem diferença estatística significativa considerando a fonte solúvel e maior dose de micaxisto. Ambos foram melhores do que a testemunha dose zero, indicando que o uso do pó de micaxisto pode ser efetivo em fornecer potássio, especialmente podendo complementar as adubações em cultivos safrinha, devido ao menor custo. Esta lógica também pode ser aplicada às médias de teor de potássio foliar, onde o tratamento com 800 mg.dm⁻³ de pó de micaxisto foi mais efetivo do que a testemunha dose zero.

Dentre as fontes de micaxisto, a dose com 800 mg.dm⁻³ (tratamento 5) foi a que apresentou os melhores resultados em relação às menores doses o pó de rocha.

5. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-60.
- ALVES, M.C.V.; GOMES, E.A.; RESENDE, A.V.; PAIVA, C.A.O.; MARRIEL, I.E.; SOUZA, S.M.; LANA, U.G.P. Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas. Embrapa Milho Sorgo, Sete Lagoas, MG, Documento 264. 2021. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225889/1/Doc-264-solubilizacao-de-potassio.pdf>. Acesso em 27 de janeiro de 2023.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforos pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700019>
- CARVALHO, Maria Melo de. Crescimento da produção agropecuária e expansão urbana no Distrito Federal. 2021. 51 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado e Licenciatura em Geografia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- CASTILHOS, Z. C.; BEZERRA, M. S.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. de V.; LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: CASTILHOS, Z. C.; FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da. *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap. 4, p. 61 – 88.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 6, sexto levantamento,

mar. 2021.

- COSTA, Fabiana Larissa Amaral da. Adubação potássica e fosfatada na sucessão cártamo e soja. 2020. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2020
- COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMASCENO, R.N.; FARIA, S.M. Aporte de nutrientes pela serrapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. R. Bras. Ci. Solo, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500014>
- EHLERS, T.; DE ARRUDA, G. O. S. F.. Utilização do Pó de Basalto em Substratos para Mudanças de *Eucalyptus grandis*. Floresta e Ambiente [online], p. 1-8, 2014. <https://doi.org/10.4322/floram.2014.002>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília. 2ª Edição Revista, 2011. 230p.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) Fertilidade do solo. Scielo Brasil. Viçosa: SBCS, p.551-594, 2007.
- FAGUNDES, A. B., W. C. MENEZES; R. E. KALCKMANN. Adubação e calagem de terras do cerrado. Anais da II Revista Brasileira de Ciência do Solo 2, p. 295-304, 1953.
- FONTANA, A. et al . Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]. 2006, v. 41, n. 5, p. 847-853. Epub 18 Ago 2006. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. Pesq. agropec. bras., 2006 41(5), maio 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500018>
- INOCÊNCIO, M. E.; CALAÇA, M.. Estado e território no Brasil: reflexões a partir da agricultura no Cerrado. Revista IDEAS, v. 4, n. 2, p. 271-306, 2010.
- JÚNIOR, J. J. A.; SOUZA, A. I.; DE ALMEIDA, Éder V.; CARNEIRO, A. O. T.; SANTOS, L. J. S.; GARCIA, E. da C.; BASTOS, R. J. M. M.; FERREIRA, D. V.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B. C.; DA SILVA, D. S. Milho implantado em segunda safra no centro-oeste do Brasil com utilização do remineralizador micaxisto / Second-crop corn planted in central-western Brazil using micaxisto remineralizer. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 29669–29680, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-452>
- MALAVOLTA, E., Crocomo, O. J., Andrade, R. G. de ., Alvizuri, C., Vencowsky, R., &

- de Freitas, L. M. M.. (1965). Estudos sôbre a fertilidade dos solos do cerrado: I. efeito da calagem na disponibilidade do fósforo (Nota prévia). Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 22, n. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, 1965 22, 1965. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761965000100012>
- NACHTIGALL, G.R.; VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1991.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coord.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos 3).
- MENEZES, C. B., FERNANDES, E. D. A., PARRELLA, R. D. C., Schaffert, R. E., & Rodrigues, J. A. S. (2021). Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995.
- MILLER, R. O.; KALRA, Y. Nitric-perchloric acid wet digestion in an open vessel. Handbook of reference methods for plant analysis, p. 57–61, 1998. <https://doi.org/10.1201/9781420049398.ch6>
- OGINO, C. M., COSTA JUNIOR, G., POPOVA, N. D.; MARTINES FILHO, J. G. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. Revista de Economia e Sociologia Rural, 1, 59(1), e220367. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220367>
- OLIVEIRA, L. A. M. de. POTÁSSIO. In: AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (Brasil). Economia Mineral do Brasil, Brasília, DF: DNPM, cap7. p. 569-576, 2009.
- Ott H. Fertilizer markets and their interplay with commodity and food prices. EUR 25392 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union;2012.
- PAIVA, P.L.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; FAQUIN, V. Efeito do manejo do solo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio mineral, fósforo e bases trocáveis. Ciência e Agrotecnologia, v.21, p. 35-43, 1997.
- PEREIRA HS, BARBOSA NC, CARNEIRO MAC, KORNDÖRFER GH. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. Pesq. agropec. bras., 2007 42(2), fev. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200013>
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. ; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, p. 1-285, 2001.
- RIBES, R., BUSS, R., Lazari, R., POTES, M., & BAMBERG, A. (2012). Efeito de rochas

moídas sobre a concentração de macronutrientes na parte aérea de plantas de milho. In: WORKSHOP INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2012, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 1 CD-ROM..

SANTOS, D. B. M.; DE SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J. Balanço do potássio em solo do cerrado no sistema plantio direto. SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, v. 9, 2008.

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. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 17, n. Matéria (Rio J.), 2012 17(3), 2012. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762012000300004>

SILVA, R. L. L., Silva, C. G. M., Moreira, S. G., & Gutiérrez, A. M. (2016). Marcha de absorção de nutrientes em cultivares de milho. In: XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Bento Gonçalves-RS. 2016. p. 210-213.

SILVA, F.C.; EIRA, P.A.; BARRETO, W.O.; PÉREZ, D.V.; SILVA, C.A. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: Métodos usados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, p. 1-40, 1998.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distroférico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.133-139, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100014>

TEIXEIRA, H. N.; CARVALHO, R.. A importância da palhada de milheto e Brachiária para o solo. Repositório Institucional da UEG, 2016.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]*. 2008, v. 32, n. 4, p. 1609-1618. Epub 10 Out 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400025>

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.8, n.2, p. 157-173, 2009. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n2p157-173>