

**PÓ DE ROCHA DE NEFELINA - SIENITO COMO FONTE POTÁSSICA: EFEITOS
NA SOJA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

por

RENATO APARECIDO SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Outubro - 2022

**PÓ DE ROCHA DE NEFELINA - SIENITO COMO FONTE POTÁSSICA: EFEITOS
NA SOJA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

por

RENATO APARECIDO SANTOS

Comitê de Orientação:

Orientador: Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski – IF Goiano – Campus Iporá

Coorientador: Prof. Dra. Silvia Sanielle Costa de Oliveira – IF Goiano – Campus Iporá

**PÓ DE ROCHA DE NEFELINA - SIENITO COMO FONTE POTÁSSICA: EFEITOS
NA SOJA E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

por

RENATO APARECIDO SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski – IF GOIANO

Examinadores: Prof. Dr. Sihelio Julio Silva Cruz – IF GOIANO

Prof. Dr. Sidinei Leandro Klocner Stürmer – IF CATARINENSE

DEDICATÓRIA

Primeiramente dedico a Deus e a minha esposa Danubia Elen dos Santos, exemplo de mulher, de profissional, companheira e amiga de todas as horas e minha maior incentivadora, sempre me dando forças para buscar meus sonhos.

Dedico aos meus pais Roberto Francisco Santos e Andreia Soraia da Silva Santos exemplos de vida, dignidade, honestidade, força de vontade e trabalho e acima de tudo exemplo de Fé. Dedico ao meu irmão Ricardo Aparecido Santos um grande exemplo, amigo e grande incentivador também, assim como toda minha família, e amigos (a)s.

Dedico também a todos os professores que fizeram parte de forma direta ou indiretamente ao longo de toda minha trajetória até aqui.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus acima de tudo. Sua luz me indicou o caminho para o sucesso e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos ao longo do curso e agradeço em especial aos meus pais, minha esposa e meu irmão, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Quero agradecer de maneira especial a EDEM Mineração e a Fazenda Bonança as quais forneceram todos os insumos, bem como a área e equipamentos necessários para realização deste trabalho.

Agradeço também ao Instituto Federal Goiano essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo que aprendi ao longo dos anos do curso. Agradeço em nome do Professor Romano Roberto Valicheski todos os profissionais e professores do instituto que dedicam suas vidas para agregar conhecimento a milhares de alunos que buscam realização profissional.

Agradeço a todos os colegas que fizeram parte desta trajetória também e desejo muito sucesso a cada um, em especial aos meus amigos Romário Mendes, Isabela Fonseca e Yarlla Freire que me ajudaram de várias formas.

Deixo aqui a todos vocês o meu muito obrigado.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S237p Santos, Renato Aparecido
Pó de Rocha de Nefelina-Sienito: Efeitos na Soja e nos atributos Químicos do Solo / Renato Aparecido Santos; orientador Romano Roberto Valicheski; co-orientadora Silvia Sanielle Costa De Oliveira. -- Rio Verde, 2022.
53 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Bioenergia e Grãos) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Rochagem. 2. Teor de clorofila. 3. Produtividade. 4. Atributos Biométricos da Soja. 5. Adubação Potássica. I. Valicheski, Romano Roberto, orient. II. Oliveira, Silvia Sanielle Costa De, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO
PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO
INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Dissertação
(mestrado) Monografia
 (especialização) TCC
(graduação)

- Artigo científico
 Capítulo de livro Livro
 Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Renato Aparecido Santos

Título do trabalho:

Pó de Rocha de Nefelina-Sienito: Efeitos na Soja e nos Atributos Químicos do Solo

Matrícula:

2021202331540014

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 15/12/2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO
Local

30 / 11 / 2022
Data

Renato Aparecido Santos

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Romano Roberto Valichetti

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 99/2022 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 57 (CINQUENTA E SETE) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e sete dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e dois, às 13h30min (treze horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **RENATO APARECIDO SANTOS**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 44 min., procedeu à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Romano Roberto Valicheski	IF Goiano – Campus Iporá	Presidente
Sihelio Julio Silva Cruz	IF Goiano - Campus Iporá	Membro interno
Sidinei Leandro Klocner Stürmer	IF Catarinense - Campus Rio do Sul	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Sidinei Leandro Klöckner Stürmer, Sidinei Leandro Klöckner Stürmer - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Catarinense (1), em 27/10/2022 16:22:20.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/10/2022 16:21:55.
- Romano Roberto Valichski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/10/2022 16:21:07.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/10/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 437425

Código de Autenticação: eaaba140fc



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 113/2022 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PÓ DE ROCHA DE NEFELINA - SIENITO COMO FONTE POTÁSSICA: EFEITOS NA SOJA E NOS
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Autor: Renato Aparecido Santos
Orientador: Romano Roberto Valicheski

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 27 de outubro de 2022.

Prof. Dr. Sidinei Leandro Klocner
Stürmer
Avaliador externo - IF Catarinense /
Campus Rio do Sul

Prof. Dr. Sihelio Julio Silva Cruz
Avaliador interno - IF Goiano /
Campus Iporá

Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski
Presidente da Banca - IF Goiano / Campus Iporá

Documento assinado eletronicamente por:

- Sidinei Leandro Klöckner Stürmer, Sidinei Leandro Klöckner Stürmer - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Catarinense (1), em 27/10/2022 16:20:47.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/10/2022 16:18:31.
- Romano Roberto Valicheski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/10/2022 16:17:02.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/10/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 437428
Código de Autenticação: 3544f4fcd0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO1 – Considerações Gerais.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
CAPÍTULO 2 – Eficiência do pó de rocha Nefelina-Sienito no suprimento de potássio na cultura da soja.....	7
CHAPTER 2 - Efficiency of Nephelin-Syenite rock powder in the supply of potassium in soybean culture.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO 3 - Pó de rocha Nefelina-Sienito como fonte de potássio na soja – efeitos nos atributos químicos do solo.....	24
CHAPTER 3 - Nephelin-Syenite rock powder as a source of potassium in soybean - effects on soil chemical attributes.....	24
INTRODUÇÃO.....	25
MATERIAL E MÉTODOS.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

Introdução

Na produção mundial de grãos a agricultura brasileira tem se destacado pelo expressivo volume produzido, fazendo o Brasil figurar entre os principais países produtores no mundo. No entanto, no país a produção de fertilizantes é ainda inferior ao consumo interno, e nos últimos anos não tem apresentado taxas de aumento similares ao da demanda (Embrapa, 2018). Por esta razão segundo FAO (2019), a dependência de importação de adubos cresceu em torno de 114 % entre 2006 e 2016, taxa de 11,4 % a.a. Assim em 2016, para atender a demanda interna por adubos o Brasil importou 89,77 % de fertilizantes nitrogenados, 65,08 % do fósforo e 94,24 % do potássio.

Na cultura da soja, respostas produtivas são notadas em consequência da adubação potássica, uma vez que a cultura é altamente responsiva em absorção e translocação de nutrientes, principalmente os macronutrientes primários nitrogênio, fósforo e potássio, que são exportados em maior quantidade (Gabriel *et al.* 2016).

Em relação ao potássio, as principais fontes utilizadas na agricultura são o cloreto de potássio (60 a 62% de K_2O), o nitrato de potássio (16% de N e 46% de K_2O) e o sulfato de potássio (48 a 50% K_2O), com destaque para o uso do cloreto de potássio (Santiago & Rossetto, 2010), que representa mais de 90% do todo fertilizante potássico utilizado.

De acordo com dados da safra 2018 do Instituto de Economia Agrícola (IEA), o Brasil importou aproximadamente 80% da matéria prima de fertilizantes, custo que tem impactado diretamente na viabilidade econômica do produtor rural, uma vez que essa matéria é cotada em dólar. Silva *et al.* (2012), relatam que o aumento da demanda por grãos tem ocasionado incremento expressivo na quantidade de fertilizantes para atividade agrícola, inflacionando os preços do mercado, levando ao interesse do uso de fontes alternativas como a rochagem.

A rochagem consiste na utilização de rochas moídas que após tamização em peneiras, são aplicadas ao solo com finalidade de promover a fertilização, corrigindo e/ou melhorando seus atributos químicos, e conseqüentemente, resultando em melhorias no desenvolvimento das plantas e na produção das culturas (Nunes *et al.* 2014).

Para Camargo *et al.* (2012), a utilização de pó de rochas como fertilizantes apresenta como vantagem seu custo reduzido, vindo a ser uma alternativa para reduzir a demanda de fertilizantes convencionais, promover o incremento no desenvolvimento e produtividade das plantas,

melhorar a fertilidade do solo e atenuar os impactos ambientais gerados pela atividade agrícola. No entanto, vários fatores ainda limitam a utilização da rochagem, tais como, a falta de incentivo e crédito, pesquisa e extensão e desinformação por parte dos agricultores, além da escassez das políticas públicas (Assis *et al.* 2013).

Dentre as rochas que são utilizadas na remineralização dos solos, pode-se citar micaxisto, basalto, glauconita, fonolito, nefelina, carbonatitos, dentre outras, as quais são fontes de fósforo, potássio, magnésio, silício, cálcio e micronutrientes de plantas (Penha & Gualberto, 2020).

As rochas denominadas de nefelina - sienito se originaram do resfriamento do magma, rico em álcali e deficiente em sílica, ou seja, ígneas e plutônicas. Estas rochas têm em sua composição aluminossilicatos, contendo sódio ou potássio, tornando-as diferentes de outras rochas feldspáticas. Além disso é uma matéria-prima utilizada na industrialização de cerâmicas e vidrarias. No entanto este pó tem chamado a atenção de pesquisadores em consequência do seu potencial remineralizador de solo, destacando-se pelo alto teor de potássio (De Almeida, *et al.* 2018).

O KMC é um produto originado da moagem da rocha nefelina-sienito que vem sendo extraída no município de Montes Claros de Goiás. Esta rocha, em sua composição química possui 11,0% de K_2O , 0,02% de CaO , 0,5% de MgO , 0,05% de P_2O_5 , 0,3% de MnO , 56,2% de SiO_2 , 22,6% de Al_2O_3 , 2,8% de Fe_2O_3 , 0,5% de Na_2O e 0,4% de TiO_2 , que pode vir a ser importante fonte alternativa de potássio para a região, reduzindo a dependência de fertilizantes potássicos importados e melhorando o retorno econômico das espécies vegetais cultivadas. Apesar deste potencial de uso com fontes de potássio na agricultura, por ser um produto recentemente lançado no mercado, são escassas informações científicas sobre os seus efeitos no desenvolvimento das plantas e na produtividade, bem como nos atributos químicos do solo no decorrer dos anos de sua aplicação, uma vez que é de baixa solubilidade.

Diante desta situação, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do uso das fontes de potássio (KCl) e o pó de rocha KMC) e de doses de K_2O em cobertura no teor de clorofila, desenvolvimento biométrico e produtividade da soja, bem como nos atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,20m de profundidade, buscando gerar informações quanto ao potencial de uso desta fonte alternativa de potássio quando comparado com o KCl, fertilizante referência na adubação potássica.

Revisão de literatura

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja, com produção de 135,912 milhões de toneladas do grão na safra 2020/2021, cultivando área de 38,532 milhões de hectares, com produtividade média a cerca de 3,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2021).

Apesar deste bom desempenho produtivo, os solos brasileiros, em sua maioria, apresentam baixa disponibilidade de macronutrientes tais como potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), uma vez que as condições climáticas predominantes no país contribuíram para o acentuado processo de intemperismo, resultando em solos quimicamente pobres, principalmente no domínio Cerrado. Este fato, associado ao cultivo intensivo das áreas nos modelos de produção agrícola adotados, tem tornado a agricultura brasileira cada vez mais dependente de insumos externos, uma vez que para manutenção dos atuais níveis produtivos, são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes (ANDA, 2021).

Após o nitrogênio, o potássio é o segundo macronutriente mais requerido pelas plantas, sendo presente em grandes proporções nos solos, no entanto, em uma forma que não é absorvida, tornando a adubação mineral um dos elementos importantes para o desenvolvimento de qualquer planta. Em relação ao consumo de potássio (K⁺), o país ocupa o segundo posto de maior importador. O K⁺ é fundamental para a cultura, uma vez que participa de diversas atividades e processos fisiológicos, atuando na regulação osmótica (Sánchez-Barrena *et al.* 2020), ativação de enzimas (Ragel *et al.* 2019), absorção de água do solo, formação de amido, síntese proteica (Taiz *et al.* 2017), também contribui para resistência das plantas a patógenos (Liu *et al.* 2022), podendo favorecer a formação e peso dos grãos, e conseqüentemente o aumento da produtividade.

O Brasil na safra 2021/2022 utilizou 45.855.071 toneladas de fertilizantes, das quais 39.201.535 toneladas foram importadas, deixando explícito que a produção nacional de fertilizantes é insuficiente para atender a demanda nacional, uma vez que foram produzidas apenas 6.990.065 de toneladas (ANDA, 2021). No contexto mundial, este fato torna o país grande consumidor e importador de fertilizantes, e em conseqüência disso, tem aumentado o interesse em fontes alternativas de adubação como a rochagem.

Neste sentido, pesquisas referentes a utilização de pó de rocha vêm sendo desenvolvidas no país, uma vez que dependendo de sua composição e condições de uso, tem resultado em melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos e na produtividade das culturas. Estas pesquisas buscam gerar informações quanto aos tipos de rochas mais eficientes, granulometria mais adequada, e se sobre os efeitos de curto, médio e longo prazo. Assim o uso

de rochas nefelinas tornam-se promissoras, podendo dissolver 100 vezes mais rapidamente do que os feldspatos potássicos, sugerindo que sua aplicação aos solos seja eficiente como fonte de potássio para as culturas agrícolas.

Nesse sentido, a literatura traz diversos trabalhos demonstrando o potencial de utilização de pó de rochas, dentro os quais Schmidt *et al.* (2019) citam que a substituição total de fertilizantes químicos solúveis pelo pó de rocha não promoveu alteração em relação aos atributos químicos do solo, no entanto, relataram efeito positivo nos componentes de produção, resultando em maior número de vagens com três grãos nos tratamentos que receberam 2,0 t ha⁻¹ de um blend de granito, mármore dolomítico e basalto, quando comparado com a soja do tratamento sem adubação.

Klein (2020) testando doses crescentes de pó de basalto em dois Latossolos Distroférricos vermelhos, sendo um de textura argilosa e outro de textura média, observou melhora significativa nos atributos químicos do solo de textura média, embora, no solo de textura argilosa, por apresentar maior fertilidade natural, não houve respostas significativas para a maioria dos atributos químicos do solo analisados. Já Medeiros *et al.* (2021), testou como fonte de K⁺ pós proveniente da rocha dacito e observou que sua aplicação de forma antecipada, bem como no momento do plantio proporcionou incrementos no número de vagens por planta, vagens com 3 grãos, peso de mil sementes e na produtividade, concluindo que sua aplicação como remineralizador do solo é promissora visando a substituição de fontes convencionais de fertilizantes de alta solubilidade, porém que seu uso ainda necessita de estudos para avaliar seus efeitos a longo prazo, bem como quanto à sua viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA, 2021. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Disponível em <https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Principais-Indicadores-2021.pdf>, Acessado em 10 / 09 / 2022.

Assis, L.B.; N.T.F. Batista, V.A. Ragagnin, C.A. Görgen, E.D.S. Martins, A.A. Bizão, L.F & E.C. Arruda, 2013. Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa e sustentável. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2, 2013, Poços de Caldas, MG. Anais. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema. p.125-132.

Camargo, C.K., J.T.V. De Resende, L.K.P. Camargo, A.S.T. Figueiredo & D.S. Zanin. 2012. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 1, p. 2985-2993.

CONAB, 2021. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.8- Safra 2020/21, n.12- Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2021.

De Almeida, J.R., O.V. Villella, J.L. Gadioli, A.A. Da Silva Almeida, H.M. Takada, C.M. Cicero & A.R. Ferreira. 2018. Teores de metais pesados em arroz cultivado com pó de rocha Nefelina Sienito. Revista Biociências, v.24, n. 2.

EMBRAPA, 2018 – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília: Embrapa, 2018. 212 p.

FAO – Organização Das Nações Unidas Para alimentação e Agricultura. 2019. Base de dados da FAOSTAT. Fertilizantes por nutriente. Disponível em < <https://www.fao.org/brasil/pt/> > Acesso em: 04 fev. 2019.

Gabriel, S. G.; A.C. Bueno & R.F. Santos. 2016. Resposta da soja (*Glycine max* L.) à duas diferentes fontes de potássio. Revista UNINGÁ Review, Paraná. Vol.25, n.1, p. 5-9.

Klein, Z. H. L. 2020. Alteração nos atributos químicos do solo após aplicação de pó de basalto como remineralizador. 2020.

Liu M.Y., Peng D., Su W., Xiang C., Jian J., Zhao J., Peng H., Liu S., Kong L., Dai L., Huang W. & Liu J. 2022. Potassium sulphate induces resistance of rice against the root-knot nematode *Meloidogyne graminicola*. Journal of Integrative Agriculture, Available online 6 August 2022, In press, journal pre-proof.

Medeiros, D, S, De.; Sanchotene, D, M.; Ramos, C, G.; Oliveira, L, F, S.; S, C, H.; Kautzmann, R, M. Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. Journal of Environmental Chemical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106742>.

Nunes, J.M.G.; R.M. Kautzmann & C. Oliveira. 2014. Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, v.84, p.649-656.

Penha, H.G.V & C.D.A.C. Gualberto. 2020. Remineralizadores de solo: economia para o produtor e produtividade na lavoura. *Revista Campo & Negócios*. Uberlândia, 2020. Disponível em <<https://revistacampoenegocios.com.br/remineralizadores-de-solo-economia-para-o-produtor-e-produtividade-nalavoura/>> Acesso em: 16 jan. 2022.

Ragel, P., N. Raddatz, E.O. Leidi, F.J. Quintero & J.M. Pardo, 2019. Regulation of K⁺ nutrition in plants. *Front. Plant Science*, 10, 281. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00281>.

Sánchez-Barrena, M.J., A. Chaves-Sanjuan, N. Raddatz, I. Mendoza, Á. Cortés, F. Gago, J.M. González-Rubio, J.L. Benavente, F.J. Quintero, J.M. Pardo & A. Albert, 2020. Recognition and activation of the plant AkT₁ potassium channel by the kinase CIPK₂₃. *Plant Physiology*, 182, 2143–2153.

Santiago, A.D & R. Rossetto. 2010. Adubação Mineral. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_38_711200516717.html#:~:text=As%20principais%20fontes%20de%20pot%C3%A1ssio,a%20necessidade%20de%20pot%C3%A1ssio%20na. Acesso em: 20 jan. 2022.

Schmidt, K.E., J.C.G. Cezimbra, L.E.N. Carpes Filho, R. Bianchetto, D.E. Fontanive & E.L. De Souza. 2019. Utilização do pó de rocha em substituição a adubação mineral tradicional na cultura da soja no noroeste do estado do RS. In: IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão.

Silva, D.R.G.; G. Marchi, C.R. Spehar, L.R.G. Guilherme, T.A. Rein, D.A. Soares & F.W. Ávila. 2012. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.951-962.

Taiz L, Zeiger E., Møller IM. & Murphy A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6th. edn. Porto Alegre, Artmed.

CAPÍTULO 2 - Eficiência do pó de rocha Nefelina-Sienito no suprimento de potássio na cultura da soja

Resumo

Apesar da magnitude do agronegócio brasileiro, ele é dependente de insumos externos, com destaque para o potássio, que 96% do total consumido vem de outros países. Esta situação tem elevado custos de produção, remetendo a necessidade do uso de fertilizantes alternativos. No Brasil há vários tipos de rochas que podem ser utilizados para esta finalidade, porém pouco exploradas. Neste trabalho objetivou-se avaliar aspectos biométricos, fisiológicos e produtivos da soja testando como fontes de K^+ pó de rocha Nefelina-Sienito (11,0% de K_2O) e KCl (58,0% de K_2O), e seis doses de K_2O (0, 25, 50, 100, 200 e 400 $kg\ ha^{-1}$). O trabalho foi desenvolvido na safra 2021/2022 na Fazenda Bonança, Montes Claros de Goiás-GO, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. No estágio R1 das plantas determinou-se teor de clorofila nas folhas, diâmetro do caule, altura de plantas, e massa seca da parte aérea. Já por ocasião da colheita, foi determinado estande de plantas, umidade dos grãos, peso de mil grãos e produtividade. Independente da fonte de potássio utilizada, houve resposta da soja até 100 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O . O uso do pó de rocha Nefelina-Sienito proporcionou menor umidade dos grãos na colheita. Para as demais variáveis, sua aplicação proporcionou resultados similares ao KCl mostrando ser promissor o uso como fonte de K^+ na soja.

Palavras-chave: rochagem, teor de clorofila, atributos biométricos da soja, produtividade

CHAPTER 2 - Efficiency of Nefeline-Syenite rock powder in potassium supply in soybean crop

Abstract

Despite the magnitude of Brazilian agribusiness, it is dependent on external inputs, especially potassium, which 96% of the total consumed comes from other countries. This situation has high production costs, leading to the need of using alternative fertilizers. In Brazil there are several types of rocks that can be used for this purpose, but they are little explored. The objective of this work was to evaluate biometric, physiological and productive aspects of soybean, testing Nepheline-Syenite (11.0% K_2O) and KCl (58.0% K_2O) and six doses of K_2O (0, 25, 50, 100,

200 and 400 kg ha⁻¹) as potassium sources. The work was carried out in the 2021/2022 harvest at Bonança Farm, Montes Claros de Goiás-GO, in a randomized block design, with four replications. In the R1 plants stage, chlorophyll content in the leaves, stem diameter, plant height, and dry mass of the aerial part were determined. At the time of harvest, the plant stand, grain moisture, weight of a thousand grain and productivity were determined. Regardless of the potassium source used, soybeans responded up to 100 kg ha⁻¹ of K₂O. The use of Nepheline-Syenite rock powder provided lower grain moisture at harvest. For the other variables, its application provided similar results to KCl, showing that its use as a K⁺ in soybeans is promising.

Keywords: rocking, chlorophyll content, biometric attributes of soybean, productivity

INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil ocupa o posto de maior produtor e exportador mundial de soja, com produção na safra 2020/2021 de 135,912 milhões de toneladas do grão, cultivando uma área de 38,532 milhões de hectares, com produtividade média aproximada de 3,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2021), valores estes que podem ainda ser melhorados através de práticas de manejo adequado, principalmente no que se refere a adubação. O país lidera também a exportação mundial do grão, sendo a soja uma das principais commodity brasileira e a cultura que mais cresceu nas últimas três décadas (Colussi *et al.*, 2016).

Para se obter satisfatório ganho na produtividade é necessário conhecer as exigências nutricionais de cada cultura. Para soja, após o nitrogênio o potássio é o segundo macronutriente mais requerido pelas plantas. Assim para cada 1000 kg de grãos produzidos por hectare, diferentes cultivares de soja podem extrair 63 a 93; 4,7 a 8,5; 29 a 62; 15 a 30; 9 a 11 e 3,6 a 4,7 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, exportando de K, Ca, Mg e S respectivamente 19-20, 2,6-2,8; 1,6-2,2 e 2,2-2,8 kg ha⁻¹ (Junior *et al.*, 2010).

O potássio atua na regulação da abertura e fechamento dos estômatos e no controle osmótico dos tecidos (Junior *et al.*, 2013), estando diretamente ligado a enzimas que atuam no processo de fotossíntese e respiração (Pereira *et al.*, 2021). A deficiência deste elemento nas plantas causa clorose internerval, acompanhada por necrose nas bordas e ápice de folhas (Sediyama, 2016).

Segundo dados da Associação Nacional de Difusão de Adubos – ANDA, em 2021 o consumo nacional de fertilizantes foi de 45,85 milhões de toneladas, sendo 85% importados. Somadas as demandas de fertilizantes das culturas da soja, milho e cana-de-açúcar, juntas estas responderam por 73% do consumo anual. Dentre os principais fertilizantes importados está o cloreto de

potássio, sendo 96% do volume utilizado oriundo de outros países. Assim em 2021, o Brasil importou cerca de 12,8 milhões de toneladas de cloreto de potássio, sendo 32,60% oriundo do Canadá, 28,2% da Rússia e 18,70% de Belarus, resultando em elevada dependência externa, fato que desfavorece a balança comercial nacional, e eleva custos de produção, pois no Brasil somente há uma mina para produção de KCl em operação, localizada em Rosário do Catete - SE, que atende somente 4% de toda demanda nacional.

Dentre os adubos potássicos mais usuais o KCl apresenta elevada solubilidade, podendo em doses elevadas ser prejudicial a germinação de sementes, bem como até no desenvolvimento de raízes em função do seu alto índice salino (Paula *et al.*, 2020). O potássio disponível no solo para as plantas está na forma catiônica K^+ , determina a baixa capacidade de adsorção do nutriente aos coloides, favorecendo sua perda por lixiviação (Gama, 2020). Diante do exposto e da dependência brasileira de importações, a busca por fertilizantes alternativos como pó de rocha se torna cada vez mais relevante, uma vez que o país possui grande diversidade geológica com potencial para esta finalidade (Duarte *et al.*, 2012).

A rochagem consiste na utilização de rocha moída para fertilização do solo, tendo liberação gradual de nutrientes, o que contribui para uma agricultura sustentável (Souza & Benati, 2020; Alovise *et al.*, 2021). Para solos de climas tropicais pobres em nutrientes e com baixa capacidade de troca de cátions, o uso do pó de rocha é ótima alternativa, pois em muitos casos proporciona aumento da CTC em função da formação de minerais de argila durante seu processo dissolução, fornecendo macro e micronutrientes que não são encontrados em fontes de fertilizantes convencionais solúveis (Leandro *et al.*, 2019). Para estes autores, a técnica ainda não é amplamente utilizada por falta de incentivo da política a utilização de fontes alternativas, desinformação dos produtores, falta de crédito para aquisição e transporte, regulamentação para a comercialização.

Em 2020 no município de Montes Claros de Goiás, começou a ser extraída a rocha Nefelina-Sienito (KMC) com o propósito de utilizar nas lavouras da região como fonte de potássio. Trata-se de uma rocha granitoide que após moagem, britagem e peneiramento, por possuir em sua composição química 11,0% de K_2O ; 0,67% de Na_2O ; 0,5% de MgO ; 0,05% de P_2O_5 e 56,2% de SiO_2 , está sendo utilizada por produtores como fonte natural de potássio (Marcante, 2021). A jazida de exploração está localizada as margens da rodovia federal BR-070, que muito favorece em logística, sendo o primeiro município da região Centro-Oeste a explorar e produzir adubo potássico, porém até o momento pouco se conhece sobre sua eficiência em suprir a demanda de K^+ das plantas.

Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do uso de duas fontes de potássio (pó de rocha nefelina-sienito e KCl) e doses de K_2O no teor de clorofila, desenvolvimento biométrico das plantas e produtividade da soja na região de Montes Claros de Goiás, buscando informações que venham orientar os produtores quanto a viabilidade de uso desta fonte alternativa de potássio que existe na região.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido durante a safra 2021/2022, na Fazenda Bonança, localizada no município de Montes Claros de Goiás-GO. O solo da área experimental apresenta topografia com relevo plano e drenagem eficiente. Trata-se de uma área aberta na safra 2018/2019 para a produção de soja, que utiliza o sistema de integração Lavoura-Pecuária, associado ao sistema de Plantio Direto (ILP-PD). Assim neste sistema produtivo a soja é cultivada na safra principal (de novembro a início de março), e logo após sua colheita, cultiva-se plantas de cobertura de forma consorciada (mix de milheto ADR 300, *Crotalaria spectabilis* e *Brachiaria ruziziensis*) visando a produção de forragem para alimentação animal e de palhada para proteção ao solo.

Na composição deste mix de plantas de cobertura, utiliza-se $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de semente de milheto, $6,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de *B. ruziziensis* e $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de *C. spectabilis* sendo a semeadura das espécies forrageiras realizada a lanço com semeadora Picetti. Simultaneamente na mesma operação é realizada gradagem leve para cobrir as sementes com o solo.

Desta forma desde a abertura da área, em todas as safras, quando as espécies de plantas de cobertura se encontram com tamanho adequado para realização do pastejo (geralmente no final de junho), os animais são inseridos no sistema produtivo, sendo a taxa de lotação determinada em função da massa seca total produzida pelo mix das plantas de cobertura. O período de pastejo é determinado em função da massa seca de palhada remanescente, sendo retirados os animais da área sempre que esta esteja próximo a $1,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Com o início do período chuvoso e a rebrota das espécies forrageiras, em 25/10/2021 realizou-se a dessecação das mesmas utilizando os seguintes produtos e doses: Hidrogen-potencializador de herbicida ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + herbicida a base de Flumioxazina ($0,1 \text{ L.ha}^{-1}$) + herbicida a base de glifosato ($3,5 \text{ L.ha}^{-1}$) + óleo mineral ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$) + espalhante adesivo ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + herbicida a base de Clorimurom-etílico ($0,08 \text{ L.ha}^{-1}$) + inseticida a base de Lambda-cialotrina ($0,1 \text{ L.ha}^{-1}$).

Na sequência, inicialmente foram coletadas amostras de solo na profundidade de $0,0 - 0,20 \text{ m}$

para realização da análise química (Embrapa, 2017), que revelou pH (CaCl_2) = 5,7; teores de Ca = 3,1 cmolc.dm^{-3} , Mg = 1,0 cmolc.dm^{-3} , Al^{3+} = 0,00 cmolc.dm^{-3} ; P disponível (Mehlich 1) = 27,0 mg.dm^{-3} , K = 65,5 mg.dm^{-3} ; H+Al = 1,8 cmolc.dm^{-3} ; matéria orgânica = 23,0 g.kg^{-1} ; saturação por bases de 70,0% e teores de totais de argila, areia e silte, de respectivamente 415, 512 e 73 g.kg^{-1} .

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso no esquema fatorial 2 x 6, sendo duas fontes de potássio (cloreto de potássio e pó de rocha KMC, respectivamente com 58,0 e 11,0% de K_2O) e seis doses de potássio utilizando estas fontes (0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg de K_2O por hectare) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais.

O KMC é um produto originado da moagem da rocha nefelina-sienito, extraído em mina localizada as margens da rodovia BR 070, município de Montes Claros de GO. Conforme laudo mineralógico a rocha possui como minerais primários 43,58% de microclíneo, 22,1% de ortoclásio, 24,13% de nefelina, 6,14% de augita, 0,73% de albita, 0,61% de analcima e 2,71% de minerais acessórios. Em relação aos teores de óxidos, apresenta 11,0% de K_2O , 0,79% de CaO, 0,5% de MgO, 0,05% de P_2O_5 , 0,3% de MnO, 56,2% de SiO_2 , 22,6% de Al_2O_3 , 2,8% de Fe_2O_3 , 0,5% de Na_2O e 0,4% de TiO_2 .

Em cada parcela experimental com 5,0 m de largura x 10,0 m de comprimento (50,0 m^2) foram cultivadas 10 linhas de soja, (cultivar Bônus – TS Fortenza Duo), sendo a semeadura realizada em 05/11/2021, utilizando como adubação de base 350 kg ha^{-1} do formulado 02-33-10 + micronutrientes, distribuídos no sulco de semeadura. Foi utilizado o espaçamento de 0,50 m entrelinhas, distribuindo-se 230 mil sementes ha^{-1} .

Simultaneamente ao plantio realizou-se a inoculação seguindo o protocolo padrão da fazenda, que consistiu na aplicação dos seguintes produtos comerciais e doses via sistema Micron diretamente no sulco: Nitragin Optimize Power soja[®] - *Bradyrhizobium japonicum* (0,22 L.ha^{-1}) + Cell Tech - *Bradyrhizobium japonicum* cepas SEMIA 5079 e 5080 (1,8 L.ha^{-1}) + Biomax azum - *Azospirillum brasilense* (AbV5) (0,2 L.ha^{-1}) + Bio imune – *Bacillus subtilis* (0,5 L.ha^{-1}) + Quimifol-cálcio (1,0 L.ha^{-1}). Após a demarcação das parcelas experimentais, quando as plantas de soja estavam no estágio V2/V3, em 27/11/2021 foi realizado manualmente a aplicação dos tratamentos. Para isto, previamente foi pesado em balança de precisão a quantidade de cada fonte de potássio a ser aplicada em cada parcela experimental, sendo sua distribuição feita a lanço em toda a superfície de cada parcela.

Quanto aos tratamentos fitossanitários para controle de plantas daninhas, pragas e doenças, no decorrer do ciclo da soja foram feitas quatro pulverizações. A primeira foi realizada em 08/12/2021 aplicando-se herbicida à base de glifosato (2,00 L.ha^{-1}) + Hidrogen – potencializador

de herbicida (0,05 L.ha⁻¹) + espalhante adesivo (0,05 L.ha⁻¹) + fungicida à base de Propiconazol e Difenconazol (0,15 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Lufenuron (0,15 L.ha⁻¹) + inseticida a base de Lambda-cialotrina (0,10 L.ha⁻¹) + regulador de crescimento contendo Cinetina, ácido giberélico e ácido 4-indol 3-ilbutírico (0,30 L.ha⁻¹) + composto nutricional Niphokan (1,00 L.ha⁻¹). A segunda pulverização foi realizada em 28/12/2021, utilizando fungicida à base de Epoxiconazol, Fluzaproxada e Piraclostrobina (0,80 L.ha⁻¹) + fungicida à base de Mancozeb (1,50 Kg.ha⁻¹) + espalhante adesivo (0,05 L.ha⁻¹) + óleo mineral (0,20 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Tiametoxan e Lamba-cialotrina (0,30 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Metoxifenoazida (0,15 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Metomil (1,00 L.ha⁻¹) + regulador de crescimento contendo Cinetina, ácido giberélico e ácido 4-indol 3-ilbutírico (0,30 L.ha⁻¹) + Quimifol florada (1,00 L.ha⁻¹) + MAP purificado (1,00 Kg.ha⁻¹). A terceira pulverização foi em 18/01/2022 usando-se fungicida à base de Azoxistrobina, Maconzeb e Tebuconazol (2,00 Kg.ha⁻¹) + espalhante adesivo (0,05 L.ha⁻¹) + óleo mineral (0,20 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Tiametoxan e Lambda-cialotrina (0,30 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Lufenuron (0,15 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Clorpirifos (1,00 L.ha⁻¹) + composto nutricional com Co e Mo (0,20 L.ha⁻¹) + MAP purificado (1,00 Kg.ha⁻¹) e à quarta aplicação em 07/02/2022, com fungicida à base de Difenconazol e Ciproconazol (0,30 L.ha⁻¹) + fungicida à base de Clorotalonil (1,00 L.ha⁻¹) + espalhante adesivo (0,05 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Acefato (1,00 Kg.ha⁻¹) + inseticida à base de Metoxifenoazida (0,15 L.ha⁻¹) + inseticida a base de Lambda-cialotrina (0,10 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Acetamiprido e Piriproxifem (0,30 L.ha⁻¹).

Quando as plantas de soja estavam no estágio R1 determinou-se o teor de clorofila com um clorofilômetro Falker, modelo ClorofiLog – CFL 1030. Neste momento, também foi determinado o diâmetro do caule das plantas a 0,05 m de altura do solo com paquímetro digital, a altura das plantas com régua graduada, bem como coletou-se duas plantas (cortadas rente ao solo), para determinação da fitomassa seca produzida pela parte aérea. Em 05/03/2022, quando as plantas estavam no estágio R8, efetuou-se a dessecação utilizando espalhante não iônico (0,05 L.ha⁻¹) + desfolhante à base de dicloreto de paraquat (1,50 L.ha⁻¹) + óleo mineral (0,30 L.ha⁻¹).

Uma semana após, coletou-se as amostras de soja, sendo coletado dois pontos amostrais em cada parcela experimental. Para isso, utilizou-se uma régua com 2,00 metros de comprimento, colocando-a na entrelinha de cada ponto amostrado e coletando-se as plantas das duas linhas de soja adjacentes, perfazendo o total de 8,00 metros lineares por parcela experimental. Em seguida efetuou-se a trilha em um batedor de cereais tratorizado, Modelo TR 791 H, marca Triton. Posteriormente determinou-se a massa total de grãos (com balança de precisão), o teor de umidade dos grãos (com medidor portátil Lemaqui, modelo AL-102 ECOR) e o peso de mil

sementes utilizando balança de precisão. De posse destas informações, calculou-se a produtividade para cada parcela experimental, sendo a umidade final dos grãos corrigida para 13,0%.

Após tabulação dos dados, realizou-se a análise de variância utilizando-se o programa estatístico SASm-Agri para verificar se houve ou não efeitos dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Os tratamentos qualitativos foram comparados por meio do teste de Tukey ($P < 0,05$). Já os quantitativos, por modelo regressão linear ou polinomial conforme cada caso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os efeitos das fontes de K_2O (pó de rocha KMC e KCl), observa-se na Tabela 1 que ambas foram similares praticamente em todas as variáveis avaliadas, não diferindo estatisticamente entre elas, exceto para umidade dos grãos (UG). Por outro lado, para as doses de K_2O , houve efeito significativo ($P < 0,05$) para clorofila A, clorofila B, clorofila total, massa seca da parte aérea e, altamente significativo ($P < 0,01$) para altura de plantas, diâmetro do caule, umidade dos grãos, peso de mil sementes e produtividade. Quanto a interação dos fatores, não houve efeito significativo para nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 1. Valores de F e nível de significância para os teores de clorofila A (Clor. A), clorofila B (Clor. B), clorofila total (Clor. T), altura das plantas (Alt.), diâmetro do caule (DC.) massa seca da parte aérea (MSPA.) determinados no estádio R1 da soja e para umidade dos grãos (UG.), estande de plantas por hectare (EST.), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD.) determinados em R8 por ocasião da colheita em função das fontes e doses de K_2O testadas. Montes Claros de Goiás, 2022.

Variável	Fonte de K_2O (f K_2O)	Dose de K_2O (d K_2O)	Interação (f K_2O) x (d K_2O)	C.V.
Clor. A	2,12 ^{ns}	3,21*	0,51 ^{ns}	3,9
Clor. B	1,28 ^{ns}	2,51*	1,35 ^{ns}	6,6
Clor. Total	1,89 ^{ns}	3,01*	0,85 ^{ns}	4,5
Alt.	0,53 ^{ns}	6,92**	0,71 ^{ns}	2,1
DC.	0,84 ^{ns}	9,48**	0,34 ^{ns}	7,4
MSPA.	1,25 ^{ns}	4,21*	0,13 ^{ns}	18,8
UG.	26,3**	7,97**	1,92 ^{ns}	7,0
EST.	0,02 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,44 ^{ns}	4,6
PMS.	1,96 ^{ns}	5,01**	1,6 ^{ns}	3,0
Prod.	2,92 ^{ns}	15,3**	0,79 ^{ns}	4,4

** significativo a 1,0%, *significativo a 5,0%, ^{ns} não significativo, C.V.: coeficiente de variação

Em relação ao efeito isolado das doses de K_2O no teor de clorofila na soja (Tabela 2), a aplicação de até 400 kg ha⁻¹ proporcionou condições nutricionais para que houvesse o

incremento desta variável nas plantas. Assim os teores de clorofila A e clorofila total, observados nas plantas cultivadas com a dose mais elevada de K₂O foram estatisticamente superiores aos das plantas cultivadas com 0,0 e 25 kg ha⁻¹. Já para o teor de clorofila B, o uso da dose de 400 kg ha⁻¹ diferiu estatisticamente apenas da testemunha. Conforme os modelos de regressão polinomial de 2º ordem obtidos para cada variável, com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ não foi possível atingir o valor máximo de clorofila, no entanto, a aplicação desta dose proporcionou índice SPAD - Soil Plant Analysis Development de 36,4 para clorofila A, de 17,1 para clorofila B e de 53,6 para clorofila total, valor este superior ao observado por Yokoyama et al. (2018) para a soja em função da cultura da entressafra e da adubação nitrogenada.

Para Viana et al. (2008),

maior disponibilidade de K⁺ para a soja estimula e otimiza o aproveitamento de N, elemento integrante de diversas enzimas que, associadas aos cloroplastos, participam da síntese das moléculas de clorofila, além de estar presente na estrutura dessas moléculas (Taiz *et al.*, 2017), fato que contribuiu para os maiores índices SPAD observados com a aplicação de doses mais elevadas de K₂O. Assim ao comparar os teores de clorofila A, B e total das plantas que aplicado 400 kg ha⁻¹ de K₂O, estes foram respectivamente 3,85; 5,71 e 3,88 % superior ao observado nas plantas com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo esta uma dose de referência frequentemente utilizada pelos produtores.

Tabela 2. Efeito isolado das doses de K₂O aplicadas no teor de clorofila A (Clor. A), clorofila B (Clor. B) e clorofila total (Clor T.) das plantas de soja determinados no estádio R1, bem como modelo de regressão polinomial de 2ª ordem e R² para cada variável analisada. Montes Claros de Goiás, 2022

Dose de K ₂ O	Clor. A	Clor. B	Clor. T
0	34,14 b	14,91 b	49,05 b
25	34,13 b	15,48 ab	49,60 b
50	35,09 ab	15,78 ab	50,89 ab
100	35,06 ab	15,51 ab	50,59 ab
200	35,56 ab	16,43 a	51,99 ab
400	36,41 a	16,40 a	52,81 a
Mod. de regressão	$y = -1E-05x^2 + 0,0096x + 34,19$ R ² = 0,9191	$y = -1E-05x^2 + 0,009x + 15,094$ R ² = 0,8502	$y = -2E-05x^2 + 0,0187x + 49,29$ R ² = 0,929

OBS. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada variável (coluna) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%

Os dados deste estudo evidenciam que há correlação positiva entre a disponibilidade de potássio para a cultura e a síntese de clorofila nas folhas da soja, remetendo a necessidade do adequado fornecimento deste elemento para as plantas, principalmente na fase vegetativa e início da fase reprodutiva, em que há maior demanda das plantas por K⁺ (Sediyama, 2016). Por

outro lado, Petter *et al.* (2012), relatam que não observaram incremento nos teores relativos de clorofila e fitomassa seca nas plantas de soja em função das doses e épocas de aplicação de K^+ , porém esta ausência de resposta foi associada aos elevados teores do elemento no solo.

As doses de potássio também influenciaram a altura das plantas (Figura 1A), o diâmetro de caule (Figura 1C) e massa seca da parte aérea (Figura 1E), determinadas quando as plantas estavam no estágio R1. Observa-se incremento linear nestas variáveis como a aplicação de doses de até 100 kg ha^{-1} , estabilizando em doses mais elevadas (200 e 400 kg ha^{-1}), sugerindo que em condições de solo e clima similares as quais foi desenvolvido o experimento, doses de K_2O próximas a $100 \text{ kg por hectare}$ são as mais adequadas, evitando-se elevar de forma substancial os custos de produção e perdas deste elemento por lixiviação. Conforme modelos de regressão obtidos, o valor máximo para altura das plantas ($128,33 \text{ cm}$), diâmetro de caule ($8,68 \text{ mm}$) e massa seca da parte aérea ($38,63 \text{ g.planta}^{-1}$) são obtidos com a aplicação de respectivamente 260 , 230 e 360 kg ha^{-1} de K_2O .

A respeito das quantidades elevadas de K_2O para se atingir o valor máximo para estas variáveis, os dados deste trabalho estão de acordo com os apresentados por Petter *et al.* (2012), que verificaram incremento na altura das plantas até a dose de 90 kg ha^{-1} de K_2O . O potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, porém, pelo elevado grau de intemperização dos solos da região do Cerrado, seu teor no solo é insuficiente para suprir as quantidades extraídas pelas culturas em cultivos sucessivos e, portanto, a sua reposição ao solo deve ser feita via adubação. Este nutriente apresenta-se na forma catiônica (K^+) e seus sais apresentam alta solubilidade, associado com capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos da região, favorece para expressivas perdas por lixiviação. Deste modo fatores como o manejo da adubação potássica (fonte, doses, métodos e épocas de aplicação) são cruciais para reduzir estas perdas e melhorar a produtividade das culturas (Junior *et al.* 2013; Pereira *et al.* 2021). Este fato evidencia o potencial do uso de fontes naturais de potássio como o pó de rocha nefelina-sienito, que por sua composição química e menor solubilidade, pode no decorrer do tempo ser fonte de potássio, bem como de diversos outro macro e micronutrientes para as plantas.

Considerando os padrões de resposta destas variáveis frente as diferentes fontes de potássio (Figuras 1B, 1D e 1F), observa-se que o KCl e o pó de rocha KMC apresentaram comportamento similar, e independente da dose testada, os resultados obtidos não diferiram estatisticamente entre eles. Estes comportamentos de resposta sugerem que o uso de pó de rocha KMC, apesar de sua menor solubilidade, está conseguindo suprir a demanda de K^+ pela soja, proporcionando desenvolvimento das plantas semelhantes ao das adubadas com KCl, o que o torna promissor frente a escassez e o elevado custo de aquisição dos fertilizantes potássicos. Marcante (2021),

testando K Forte, pó de rocha KMC e KCl como fontes de potássio relata para soja que não houve diferença significativa entre as fontes de K₂O utilizadas, obtendo para as plantas adubadas com K Forte, pó de rocha KMC e KCl, altura de respectivamente 94,06; 93,51 e 91,86 cm.

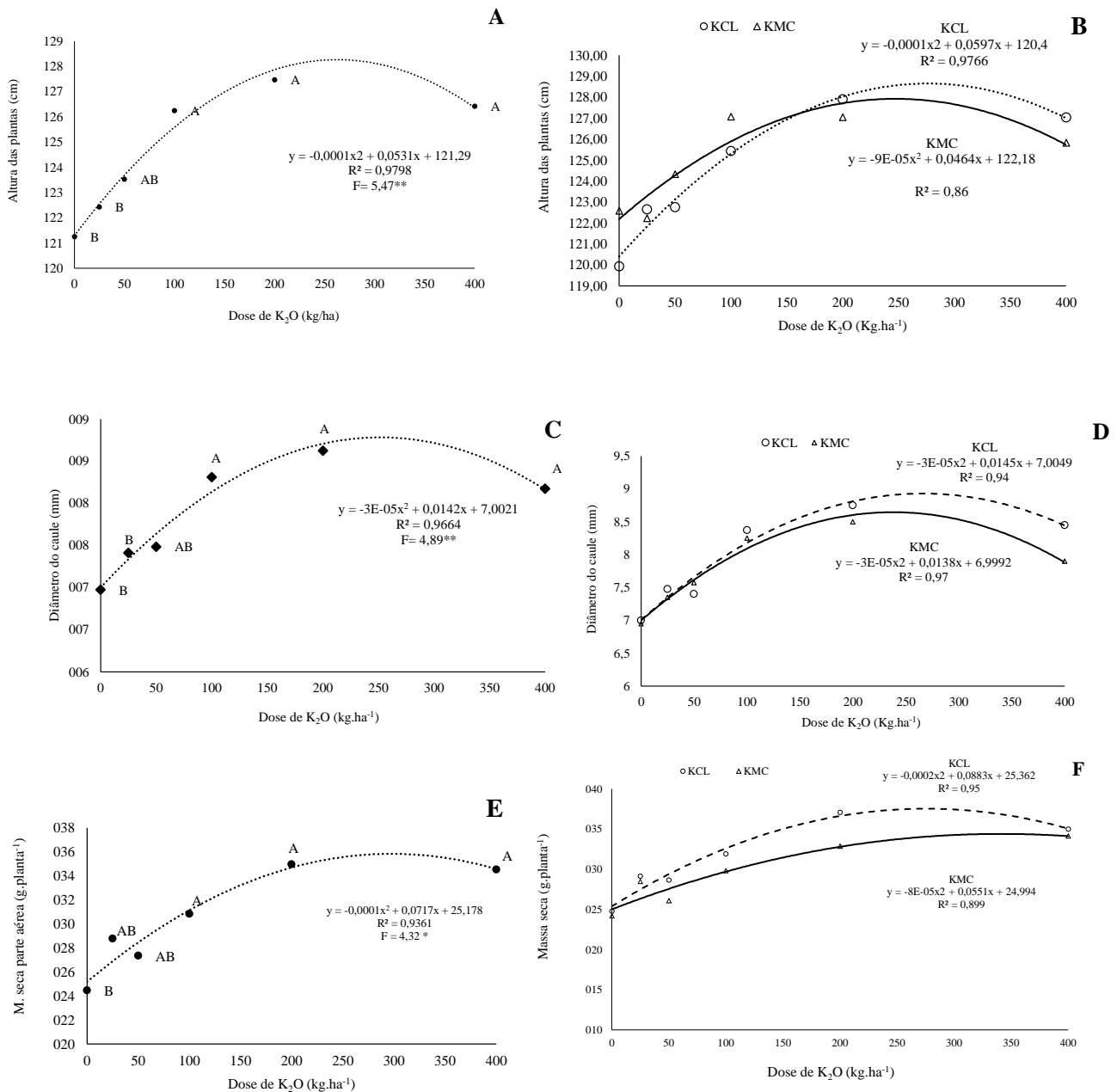


Figura 1. Efeito isolado das doses de K₂O para altura das plantas (A), diâmetro de caule (C) e massa seca da parte aérea por planta (E) biométricas da soja e comportamento destas variáveis com o uso de Cloreto de Potássio e Pó de rocha – KMC (B, D e F). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%. Montes Claros de Goiás, 2022

Schmidt *et al.* (2019) relatam que a substituição total de fertilizantes químicos solúveis por blend de pó de rocha composto por granito, mármore dolomítico e basalto resultou em efeito positivo nos componentes de produção da soja, constatando maior número de vagens com três grãos, nos tratamentos que receberam 2,0 Mg.ha⁻¹ deste produto, quando comparado com o

controle. Por outro lado, ao avaliar o uso de pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo para a soja, Alovisei *et al.* (2021) mencionam que a altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, diâmetro do coleto, peso de mil grãos e produtividade foram influenciadas pela adição da adubação química complementar, com os maiores valores nos tratamentos que receberam adubação química, sugerindo que o pó de basalto, pela sua baixa solubilidade não seja utilizado como a principal fonte de nutrientes às plantas.

Em relação a umidade dos grãos no momento da colheita, aplicando-se KCl estes apresentaram maior umidade, sendo estatisticamente superior a dos grãos das plantas que se aplicou o pó de rocha KMC (Tabela 3). Esta maior quantidade de água nos grãos no momento da colheita pode estar associada a elevada disponibilidade de K⁺ para as plantas, pois onde se aplicou doses elevadas de K₂O (100, 200 e 400 Kg ha⁻¹) na forma de KCl, mesmo com sua elevada solubilidade em água e disponibilidade de todo K⁺ em poucos dias, que favorece as perdas por lixiviação, estas doses elevadas garantiram maior suprimento de potássio para as plantas.

Tabela 3. Efeito isolado das fontes de potássio (KCl e pó de rocha KMC) e das doses de K₂O na umidade dos grãos (U.G) no momento da colheita. Montes Claros de Goiás, 2022.

Dose de K ₂ O	KCl	KMC	Média
-----%-----			
0	14,7	14,2	14,43 b
25	15,5	15,1	15,29 b
50	15,6	14,0	14,79 b
100	18,0	15,3	16,61 a
200	18,4	15,2	16,81 a
400	17,7	16,3	16,98 a
Média	16,65 A	14,99 B	15,8
Modelo de regressão	y = -3E-05x ² + 0,0191x + 14,503 R ² = 0,8749		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%

Nesta condição, a maior disponibilidade de potássio contribuiu para prolongar a atividade fotossintética na planta, resultando na manutenção de hastes mais verdes e maior retenção de folhas. Assim mesmo sendo realizada a dessecação da lavoura, as plantas necessitam de período maior para secar e reduzir a umidade dos grãos. Já com a aplicação do pó de rocha KMC, por causa de sua baixa solubilidade e lenta liberação de K⁺ para as plantas (Souza & Benati, 2020, Marcante, 2021), as mesmas apresentavam estado de senescência mais avançado das folhas no momento da dessecação (observação visual a campo), que contribuiu para agilizar a queda das folhas, e conseqüentemente, reduzir de forma mais acentuada umidade dos grãos na colheita.

Quanto a produtividade da soja, embora maior média geral do experimento tenha sido obtida com a utilização do KCl, nota-se que não houve diferença estatística quando comparada produtividade média das plantas adubadas com o pó de rocha KMC (Tabela 4). Ao comparar o valor médio da produtividade das plantas adubadas com KCl com as adubadas com pó de rocha, esta foi 2,08% superior. Considerando este resultado e os anteriormente já discutidos, apesar da baixa solubilidade e lenta mineralização do pó de rocha KMC, eles sugerem que este produto pode vir a ser uma fonte promissora no fornecimento de potássio para as culturas. Medeiros *et al.* (2021), utilizando como fonte de K^+ pó de rocha de dacito aplicado em diferentes períodos antecedendo a semeadura, observaram que sua aplicação de forma antecipada, bem como no momento do plantio resultou no incremento no número de vagens por planta, vagens com 3 grãos, peso de mil sementes e na produtividade, concluindo que sua aplicação como remineralizador do solo é promissora visando a substituição de fontes convencionais de nutrientes e redução do uso de fertilizantes de alta solubilidade, porém que seu uso necessita de estudos para avaliar seus efeitos a longo prazo, bem como quanto à viabilidade econômica.

Quanto a produtividade em função das doses utilizadas, observa-se que maior massa de grãos foi obtida com a aplicação das doses de 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de K₂O, as quais não diferiram entre si, porém foram estatisticamente superiores a produtividade observada para os tratamentos testemunha, 25 e 50 kg ha⁻¹. Ao comparar a produtividade obtida nestes tratamentos, com a obtida nas parcelas em que se aplicou-se a dose de 100 kg ha⁻¹ de K₂O, esta foi respectivamente 15,9; 11,1 e 8,0% superior. Já para o peso de mil grãos, a resposta à aplicação de K₂O foi menos expressiva, uma vez que não se observou diferença significativa entre as doses testadas (25 a 400 kg ha⁻¹), porém quando comparado com a testemunha, a aplicação de doses de 100 kg ha⁻¹ ou mais proporcionou maior PMG.

Esper Neto *et al.* (2018), testando doses e épocas de aplicação de potássio na soja relatam que com maior disponibilidade de K^+ as plantas exploram melhor seu ambiente. Segundo estes autores, as mudanças observadas na disponibilidade de K^+ do solo pode ser usado para prever a produtividade, uma vez que as variáveis biométricas e a produção de grãos foram positivamente e significativamente correlacionados com doses de K₂O de até 160 kg ha⁻¹, sendo estas diferenças mais evidentes em anos de baixa precipitação pluviométrica. Respostas positivas às doses de potássio também são relatadas por Antigo *et al.* (2020), os quais constataram que a adubação potássica afeta de forma diferenciada a altura da planta, peso de 1000 grãos, produção de matéria seca pela parte aérea e a produtividade.

Para a produtividade, bem como para umidade dos grãos no momento da colheita e o peso de 1000 grãos (PMG), foi observado uma resposta quadrática em função do incremento das

doses de K₂O utilizadas. Conforme modelos obtidos (Tabela 3 e 4), o valor máximo calculado para PMS é de 233,8g é obtido com a aplicação de 392 kg ha⁻¹ de K₂O, para a umidade dos grãos na colheita é de 17,5% obtido com a aplicação de 315 kg ha⁻¹ de K₂O e para a produtividade é de 75,6 sc.ha⁻¹ obtido com a aplicação de 220 kg ha⁻¹ de K₂O.

Tabela 4. Efeito isolado das fontes de potássio (KCl e pó de rocha KMC) na produtividade e no peso de mil sementes (PMG) da soja cultivar Bonus. Montes Claros de Goiás, 2022.

Dose K ₂ O (kg.ha ⁻¹)	KCL	KMC	Média	KCl	KMC	Média
	----- Produtividade (sc.ha ⁻¹)-----			-----PMS (g)-----		
0	65,8	64,0	64,9 c	216,2	222,6	219,4 b
25	67,6	67,7	67,7 bc	223,4	220,1	221,7 ab
50	69,1	70,2	69,6 b	223,1	221,8	222,5 ab
100	76,5	73,9	75,2 a	231,1	227,3	229,2 a
200	77,4	72,8	75,2 a	234,7	222,1	228,4 a
400	75,4	73,8	74,6 a	234,3	232,6	233,4 a
Média	71,9	70,4		227,1	224,5	
Modelo de regressão	y = -0,0002x ² + 0,0903x + 65,619 R ² = 0,9146			y = -9E-05x ² + 0,0707x + 220,01 R ² = 0,9009		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%

Para estas três variáveis, a despeito do modelo polinomial ser adequado quando se visa identificar qual será a resposta máxima da soja em relação a adubação potássica, observa-se que há incremento linear com a aplicação de até 100 kg ha⁻¹ de K₂O, estabilizando a partir desta dose (Figura 2). Conforme modelos obtidos para doses de até 100 K₂O.ha⁻¹, independente da fonte de potássio, cada incremento de 10 kg de K₂O aplicado resulta no aumento de 0,865g no peso de mil sementes (Figura 2A), 0,18% na umidade dos grãos (Figura 2B) e de 0,944 sacas.ha⁻¹ na produtividade (Figura 2C).

Deste modo, considerando a escassez de fertilizantes potássicos e o seu elevado custo de aquisição, para a soja em condições de clima e solo similares aquelas em que o experimento foi desenvolvido, aplicar doses mais elevadas que 100 kg ha⁻¹ de K₂O torna-se agronomicamente inviável, uma vez que não resultará em melhores condições para as plantas se desenvolverem, tampouco resultará em incremento na produtividade que justifique esta aplicação.

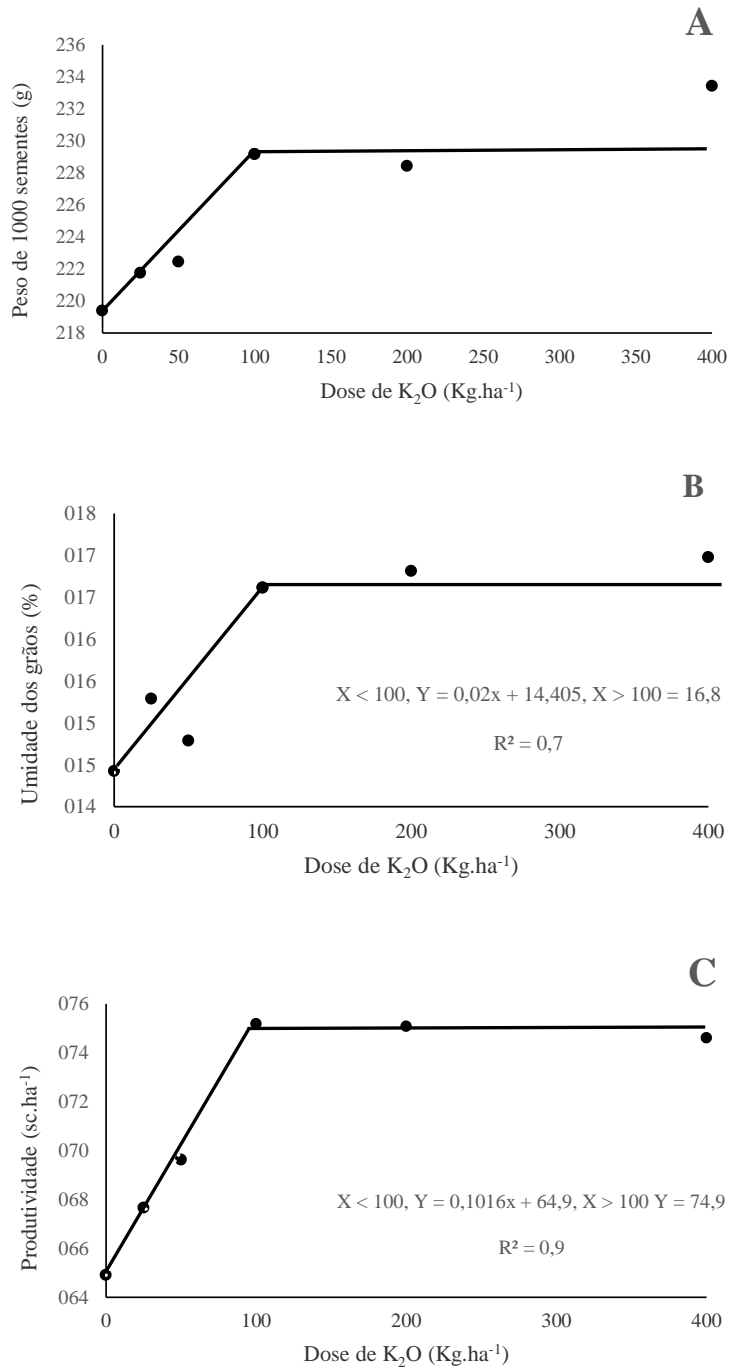


Figura 2. Peso de mil sementes, umidade dos grãos no momento da colheita e produtividade da soja em função das doses de K₂O testadas. Montes Claros de Goiás, 2022.

Além disso, ao aplicar doses elevadas de K₂O utilizando fontes prontamente solúveis como KCl, faz com que grande parte deste elemento permaneça na solução do solo, proporcionando maiores perdas de K⁺ pelo processo de lixiviação, quando comparado com fontes menos solúveis como o pó de rocha KMC. Korndörfer *et al.* (2020) ao avaliar a lixiviação de potássio em lisímetro usando como fontes de potássio KCl, pó de rocha KMC e KNO₃ aplicadas superficialmente no solo, observaram que em solo de textura arenosa o pó de rocha KMC

promoveu acréscimos nos teores de K^+ trocável até 0,15 m de profundidade após aplicação de 1.800 mm de água via irrigação, bem como menor turbidez e teor de potássio na água excedente que percolou, sendo coletada como lixiviado. Por outro lado, com a aplicação de KCl e KNO_3 , maiores teores de K^+ foram observados em profundidade superior a 0,5 m, bem como elevada turbidez da água e maior teor de K^+ no lixiviado coletado, indicando que ao usar doses mais elevadas destas fontes, há maiores perdas pelo processo de lixiviação.

CONCLUSÕES

O uso de pó de rocha nefelina-sienito proporcionou teor de clorofila nas folhas, desenvolvimento das plantas, peso de mil sementes e produtividade semelhantes as obtidas com a aplicação do KCl, sendo seu uso promissor como fonte de potássio para a soja.

Pelos benefícios que ocasionam ao desenvolvimento das plantas, e principalmente na produtividade da soja, doses de até 100 kg ha⁻¹ são as mais adequadas, proporcionando maior produção de grãos por kg de potássio aplicado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alovisi, A.M.T.; Tebar, M.M.; Villalba, L.A.; Muglia, G.R.P.; Soares, M.S.P.; Tokura, L.K.; Cassol, C.J.; Silva, R.S.; Tokura, W.I.; Gning, A.; Kai, P.M. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, e33710615599, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>

Antigo, V.; Matias, R.F.; Bido, G.S.; Felipe, D.F.; Mannigel, A.R. Avaliação de parâmetros agronômicos da cultura soja em resposta a diferentes doses de adubação potássica. *Enciclopédia Biosfera*. v.17 n.32; p. 113- 121, 2020. [DOI: 10.18677/EnciBio_2020B9](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2020B9)

Colussi, J.; Weiss, C.R.; Souza, A.R.L.; Oliveira, L. O agronegócio da soja: Uma análise da rentabilidade do cultivo da soja no Brasil. *Revista Espacios*, v.37, n.16, 2016. 2016. <https://www.revistaespacios.com/a16v37n16/16371623.html>. 25 Set. 2022.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento de abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.8– Safra 2020/21, n.12 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2021.

Duarte, I.N.; Sousa, R.T.X.; Kordorfer, G.H.; Fontoura, P.R.; Soares, R.A.B. Biotita: fonte de potássio para agricultura. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 98-103, Mar. 2012. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13241>. 25 Set. 2022.

Esper, N.M.; Minato, E.A.; Bensen, M.R.; Inouê, T.T.; Batista, M.A. Biometric responses of soybean to different potassium fertilization management practices in years with high and low precipitation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. <http://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170305>. 2018.

Gama, M.A.P.; Matos, G.S.P.; Silva, G.P.; Neto, A.A.L.M. Rochagem e remineralização do solo. Apostila de Fertilidade do solo modulo 3. Belém – Pará, 2020. https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/405678/mod_resource/content/1/M%C3%B3dulo%20III%20-%20Fertilidade%20Rochagem%20correta.pdf. 20 Set. 2022.

Junior, A.C.G.; Nacke, H.; Marengoni, N.G.; Carvalho, E.A.; Coelho, G.F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fosforo, potássio e zinco. Ciênc. Agrotec., Lavras, v.34, n. 3, p. 660-666, maio/jun., 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300019>

Junior, A.O., Oliveira, F.A., Castro, C., Jordão, L.T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. Informações agrônômicas n. 143-setembro de 2013. https://www.researchgate.net/publication/283055647_Adubacao_potassica_da_soja_cuidados_no_balanco_de_nutrientes/link/562801c608ae04c2aead8255/download. 21 Set. 2022.

Yokoyama, A.H.; Ribeiro, R.H.; Balbinot Junior, A.A.; Franchini, J.C.; Debiasi, H.; Zucareli, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. Revista de Ciências Agrárias (Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal), v.1, n. 4, p. 953-962, 2018. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA18153>

Korndorfer, G.H.; Santos, G.A.; Gualberto, C.A.C. Estudo da mobilidade do potássio (K) proveniente da nefelina-sienito, no perfil do solo (EDEM). Relatório Final. Uberlândia, MG, 2020.

Leandro, W.M.; Júnior, J.P de O.; Brasil, E.P.F. Eficiência da remineralização do solo com rocha potássica na produção de forragem. Escola de agronomia e engenharia de alimentos. Goiânia, Go, 2019.

Marcante, N. Eficiência agrônômica do potássio natural KMC no cultivo de sucessão soja-milho. Mineagro pesquisa e desenvolvimento. Brasília, 2021.

Medeiros, D.S.; Sanchotene, D.M.; Ramos, C.G.; Oliveira, L.F.S.; Sampaio, C.H.; Kautzamann, R.M. Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. Journal of Environmental Chemical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106742>.

Paula, R.H.R.; Anjos, D.N.; Freitas, P.H.G.; Ribeiro, J.S. Efeito da salinidade do cloreto de potássio na emergência e no crescimento inicial de plântulas de soja. Revista PesquisAgro, Confresa-MT, v. 3, n. 1. Janeiro/julho 2020. <http://dx.doi.org/10.33912/pagro.v3i1.664>

Pereira, R.M.; Silva, H.B.R.; Oliveira, H.M.S.; Ribeiro, D.O.; Tomaz, R.G.; Silva, G.P.; Silva, A.J. Comparação de cultivares de soja em resposta a aplicação de diferentes doses de potássio. Brazilian Journal of Development. ISSN 2525-8761. Vol 7, N 1, 2021. [DOI:10.34117/bjdv7n1-279](https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-279)

Petter, F.A.; Silva, J.A.; Pacheco, L.P.; Almeida, F.A.; Alcântera Neto, F.; Alan M.L., Zuffo, A.M., Lima, L.B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. Revista. Ciências Agrárias, v. 55, n. 3, p. 190-196 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.057>

Souza, H.S.; Benati, K.R. Extração de fosfato e utilização da técnica de rochagem como alternativa para os pequenos e médios agricultores. 2020.

Sediyama, T. Produtividade da soja. Londrina: Macenas, 2016. 72p. ISBN: 9788589687188

Schmidt, K.E.; Cezimbra, J.C.G.; Filho L.E.N.C.; Bianchetto, R.; Fontanive, D.E.; Souza, E.L. Utilização do pó de rocha em substituição a adubação mineral tradicional na cultura da soja no noroeste do estado do RS. UERGS. 2019.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p. ISBN: 9788582713662

Viana, M.C.M.; Freire, F.M.; Gonçalves, L.D.; Mascarenhas, M.H.T.; Lara, J.F.R.; Andrade, C.L.T.; Purcino, H.M.A. Índice de clorofila na folha de alface submetida a diferentes doses de nitrogênio. Horticultura Brasileira, v. 26, n. 2, p. 86-90, 2008.

CAPÍTULO 3 - Pó de rocha Nefelina-Sienito como fonte de potássio na soja – efeitos nos atributos químicos do solo

Resumo

A soja é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, todavia a produção nacional de fertilizantes é insuficiente para atender a demanda, principalmente quanto ao potássio, essencial nos processos fisiológicos das plantas. A principal fonte de adubação potássica utilizada é o KCl, remetendo a necessidade de fontes alternativas, como rochas naturais. Objetivou-se avaliar os atributos químicos do solo após o cultivo da soja testando como fontes de K^+ , pó de rocha nefelina-sienito (11,0% de K_2O) e KCl (58,0% de K_2O) em seis doses de K_2O em cobertura (0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg de K_2O por hectare). O trabalho foi desenvolvido na safra 2021/2022 na Fazenda Bonança, Montes Claros de Goiás-GO, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Na fase de senescência das plantas, coletou-se amostras de solo na camada de 0,0-0,20 m de profundidade para análises químicas. O pó de rocha proporcionou incremento nos teores de Ca, Ca+Mg, H+Al e na CTC do solo. Sua aplicação, quando comparado com o controle, reduziu o teor de K^+ e % de K na CTC na maior dose testada. Por outro lado, com o uso do KCl houve incremento linear nestas variáveis. O pó de rocha foi eficiente em melhorar alguns atributos químicos do solo e considerando sua baixa solubilidade e efeito residual, espera-se que no decorrer do tempo, venha a ocorrer incrementos nos teores de K^+ do solo.

Palavras-chave: eficiência agronômica, remineralizador de solo, adubação potássica, sustentabilidade.

CHAPTER 3 - Nephelin-Syenite rock powder as a source of potassium in soybean - effects on soil chemical attributes

Abstract

Soybean is one of the main crops of Brazilian agribusiness, however the national production of fertilizers is insufficient to meet the demand, especially regarding potassium that is essential in the physiological processes of plants. The main source of potassium used is KCl, referring to the need for alternative sources, such as natural rocks. The objective was to evaluate the chemical attributes of the soil after soybean cultivation using nepheline-syenite rock powder

(11.0% K₂O) and KCl (58.0% K₂O) and six doses of K₂O as sources of K⁺ at coverage (0, 25, 50, 100, 200 and 400 kg of K₂O per hectare). The work was carried out in the 2021/2022 harvest at Bonança Farm, Montes Claros de Goiás-GO, in a randomized block design with four replications. Rock dust provided an increase in Ca, Ca+Mg, H+Al and CTC in the soil. Its application, when compared with the control, reduced the content of K⁺ and % of K in the CTC at the highest dose tested, on the other hand, with the use of KCl there was a linear increase in these variables. Rock dust was efficient in improving some soil chemical attributes and considering its low solubility and residual effect, it is expected that over time, increases in soil K⁺ contents will occur.

Keywords: agronomic efficiency, soil remineralizer, potassium fertilization, sustainability.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destacou como o maior produtor mundial de soja na safra 2020/2021, com produção de 135,409 milhões de toneladas, área plantada de 38,502 milhões de hectares e produtividade de 3.517 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Dentre as principais culturas do país, a soja é uma das mais importantes, visto que é relevante fonte de proteína vegetal, estando presente na alimentação humana e animal, na produção de biodiesel, bem como em diversos outros produtos, levando a expansão de sua área cultivada em várias regiões do país para atender esta demanda (Hirakuri *et al.* 2014).

Por outro lado, as fábricas brasileiras de fertilizantes possuem produção insuficiente para atender a demanda nacional, sendo importado aproximadamente 70% dos fertilizantes utilizados no país, com destaque para os adubos potássicos, dos quais 94% do volume utilizado na agricultura brasileira é importado na forma de cloreto de potássio (KCl), fato que substancialmente tem elevado os custos de produção (Silva *et al.* 2018).

O K⁺ é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, uma vez que participa de diversas atividades e processos fisiológicos, bem como na regulação osmótica, ativação de enzimas, absorção de água do solo, formação de amido, síntese proteica, promove maior resistência a doenças, favorece a formação e peso dos grãos (Taiz *et al.* 2017). No que se refere a sua reposição, o KCl é o principal fertilizante utilizado na agricultura, graças a sua elevada concentração de K₂O solúvel em água (58% a 62%). Todavia, atualmente adubações alternativas tem sido motivo de pesquisas, como por exemplo a rochagem (Swboda *et al.* 2022; Samantray *et al.* 2022).

As formas em que o potássio é encontrado no solo são a solúvel, trocável, não trocável e estrutural. O K^+ solúvel refere-se aquele que está presente na solução do solo, e o trocável, é aquele que está retido eletrostaticamente pelos colóides do solo, sendo estes disponíveis para as plantas. Por estar na sua forma catiônica (K^+), o potássio apresenta baixa capacidade de adsorção aos colóides e pode ser facilmente perdido via lixiviação (Gama *et al.* 2020). Já o K^+ não trocável, este funciona como reserva a fim de suprir o K^+ trocável, estando o K^+ retido entre as camadas de argilas filossilicatadas 2:1. No que se refere a forma estrutural, o K^+ está preso dentro da estrutura do mineral, resultando em reserva a longo prazo (Samantray *et al.* 2022).

Segundo Werle *et al.* (2008), a disponibilidade de K^+ existente no solo é dependente dos minerais primários e secundários do solo, da aplicação de fertilizantes, da CTC (capacidade de troca de cátions) do solo e da ciclagem deste elemento pelas plantas. Deste modo, a rochagem poderia ser uma forma alternativa de liberação gradual de nutrientes, proporcionando efeito mais duradouro e o menor risco de perdas quando comparada aos adubos de alta solubilidade, além de possuir menor custo e ser de fácil acesso aos produtores rurais (Medeiros *et al.* 2021).

A rochagem é uma técnica que se fundamenta na aplicação de pó de rocha ao solo, no qual a água atua como solvente e decompõe esse pó lentamente. Dessa forma ocorre a liberação gradual dos nutrientes presentes na rocha, contribuindo com a fertilidade do solo (Samantray *et al.* 2022). O Brasil detém de vasta diversidade geológica, das quais algumas podem possuir potencial para aplicação na agricultura. A utilização de pó de rocha é capaz de garantir inúmeras vantagens, uma vez que pode se aproveitar de resíduos da atividade mineradora, reduzir a importação de fertilizantes, utilização de rochas regionalizadas, além de poder ser utilizado em sistema orgânico.

Acerca das principais vantagens no solo, destacam-se a reposição de nutrientes em solos de baixa fertilidade, redução da acidez com o passar do tempo, reestruturação, aumento da capacidade de troca de cátions do solo, além de melhorar a capacidade de oxigenação de modo a reduzir custos com fertilizantes químicos. Diversas rochas possuem potencial de fornecer K^+ às plantas e alterar atributos químicos do solo, como o pH e a CTC, pois contêm proporções variadas de carbonatos e material coloidal (Ramos *et al.* 2015). Essas rochas são constituídas principalmente por minerais primários e secundários que contêm potássio em suas estruturas ou o retêm de forma específica logo sua aplicação, podendo causar alterações também nas formas de potássio do solo (Samantray *et al.* 2022; Swboda *et al.* 2022).

O KMC é um produto originado da moagem da rocha nefelina-sienito, com potencial para aplicação na agricultura, contém 11,0% de K_2O , 0,67% de Na_2O e 0,39% de MgO (Marcante, 2021). Assim, pela grande demanda de potássio, faz-se necessário buscar por fontes alternativas

deste nutriente, com o objetivo de diminuir a dependência externa, bem como possuir fontes mais econômicas e sustentáveis para os produtores. Por não ser um fertilizante industrializado, o pó de rocha possui baixo valor agregado, sendo um insumo acessível tanto para o pequeno quanto para o grande produtor rural, contribui para reduzir os custos de transporte e dinamizar a agricultura local (Moretti *et al.* 2019).

Diante desta situação, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do uso de duas fontes de potássio (KCl e o pó de rocha KMC) e de doses de K₂O em cobertura nos atributos químicos do solo, buscando informações que venham orientar os produtores quanto a viabilidade de uso desta fonte alternativa de potássio existente na região do oeste goiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na safra 2021/2022 na Fazenda Bonança, localizada no município de Montes Claros de Goiás-GO. O solo da área experimental apresenta topografia com relevo plano e drenagem eficiente. Esta área foi aberta para a produção de soja na safra 2018/2019, utilizando como manejo de solo o sistema de Integração Lavoura-Pecuária, associado ao sistema de Plantio Direto (ILP-PD). Deste modo cultiva-se a soja na safra principal (de novembro a início de março), e logo após sua colheita, efetua-se a semeadura de espécies forrageiras de forma consorciada (mix de milho ADR 300 + *Crotalaria spectabilis* + *Brachiaria ruziziensis*), com finalidade de produzir forragem para a alimentação animal, bem como palhada para proteção ao solo.

Quanto a proporção de sementes das espécies vegetais que compõem este mix, utiliza-se 3,0 kg ha⁻¹ de semente de milho + 6,0 kg ha⁻¹ de *B. ruziziensis* + 3,0 kg ha⁻¹ de *C. spectabilis*, sendo a semeadura realizada a lanço com semeadora Picetti. Simultaneamente a semeadura, com grade acoplada a semeadora, realiza-se gradagem leve para cobrir as sementes com o solo. Assim, deste a abertura desta área tem-se adotado este manejo em todas as safras.

Quando as espécies forrageiras atingem tamanho adequado para realização do pastejo (geralmente no final de junho), os animais são inseridos no sistema produtivo. Previamente ao período de pastejo quantifica-se a massa seca total de forragem produzida, sendo a taxa de lotação determinada em função da massa seca total produzida pelo mix das plantas de cobertura. O quantitativo de dias que os animais permanecem pastejando na área é dependente da quantidade de palhada remanescente na superfície do solo, sendo retirados da área sempre que este valor fique próximo a 1,5 t.ha⁻¹.

Após o início do período chuvoso e com a rebrota das espécies forrageiras, em 25/10/2021

realizou-se à dessecação da área, aplicando-se solução contendo Hidrogen-potencializador de herbicida (0,05 L.ha⁻¹) + herbicida à base de Flumioxazina (0,10 L.ha⁻¹) + herbicida à base de glifosato (3,50 L.ha⁻¹) + óleo mineral (0,30 L.ha⁻¹) + espalhante adesivo (0,05 L.ha⁻¹) + herbicida à base de Clorimurom-etílico (0,08 L.ha⁻¹) + inseticida à base de Lambda-cialotrina (0,10 L.ha⁻¹).

Após a dessecação, neste talhão de aproximadamente 45 hectares, no início de novembro de 2021, selecionou-se uma gleba de aproximadamente 0,4 hectares para a implantação do experimento, coletando-se neste momento amostras de solo na camada de 0,0 – 0,20 m para realização da análise química (Embrapa, 2017). Conforme laudo da análise, o solo possui pH (CaCl₂) = 5,7; teores de Ca = 3,1 cmol_c.dm⁻³, Mg = 1,0 cmol_c.dm⁻³, Al³⁺ = 0,00 cmol_c.dm⁻³; P disponível (Mehlich¹) = 27,0 mg.dm⁻³, K = 65,5 mg.dm⁻³; H+Al = 1,8 cmol_c.dm⁻³; matéria orgânica = 23,0 g.kg⁻¹; saturação por bases de 70,0% e teores de totais de argila, areia e silte, de respectivamente 415, 512 e 73 g.kg⁻¹.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso no esquema fatorial 2 x 6, testando-se duas fontes de potássio (cloreto de potássio com 58,0% de K₂O e pó de rocha KMC com 11,0% de K₂O) e seis doses de potássio (0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg de K₂O por hectare) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Em cada parcela experimental com 5,0 m de largura x 10,0 m de comprimento (50,0 m²) foram cultivadas 10 linhas de soja.

O pó de rocha KMC é oriundo da moagem da rocha nefelina-sienito, extraído em mina localizada as margens da rodovia BR 070, município de Montes Claros de Goiás, distante 70km do município de Barra do Garças-MT. Conforme laudo mineralógico a rocha possui 43,58% de microclíneo, 22,1% de ortoclásio, 24,13% de nefelina, 6,14% de augita, 0,73% de albita, 0,61% de analcima e 2,71% de minerais acessórios. Em relação aos teores de óxidos, a fonte apresenta 11,00% de K₂O, 0,79% de CaO, 0,50% de MgO, 0,05% de P₂O₅, 0,30% de MnO, 56,20% de SiO₂, 22,60% de Al₂O₃, 2,80% de Fe₂O₃, 0,50% de Na₂O e 0,40% de TiO₂.

Em 05/11/2021 realizou-se a semeadura da soja (cultivar Bônus – TS Fortenza Duo), sendo utilizado como adubação de base 350 kg ha⁻¹ do formulado 02-33-10 + micronutrientes, distribuído no sulco de semeadura. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,50 m entrelinhas, distribuindo-se 11,5 sementes por metro linear de sulco, totalizando 230 mil sementes ha⁻¹. Durante o plantio, na mesma operação também foi realizada a inoculação diretamente no sulco via sistema micron, aplicando-se Nitragin Optimize Power soja[®] - *Bradyrhizobium japonicum* (0,22 L.ha⁻¹); + Cell Tech - *Bradyrhizobium japonicum* cepas SEMIA 5079 e 5080 (1,8 L.ha⁻¹) + Biomax azum - *Azospirillum brasilense* (AbV5) (0,2 L.ha⁻¹) + Bio imune – *Bacillus subtilis* (0,5 L.ha⁻¹) + Quimifol-cálcio (1,0 L.ha⁻¹).

Estando as plantas de soja no estágio V2/V3, em 27/11/2021 foi realizada a aplicação das fontes de potássio. Para isto, previamente foi pesado em balança de precisão a quantidade de KCl e pó de rocha KMC conforme cada dose testada. Na sequência efetuou-se manualmente sua distribuição em toda a superfície de cada parcela experimental.

Quanto aos tratamentos fitossanitários para controle de plantas daninhas, pragas e doenças, no decorrer do ciclo da soja foram feitas quatro pulverizações. Assim em 08/12/2021 foi feita a primeira pulverização com herbicida à base de glifosato ($2,00 \text{ L.ha}^{-1}$) + Hidrogen – potencializador de herbicida ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + espalhante adesivo ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + fungicida à base de Propiconazol e Difenconazol ($0,150 \text{ L.ha}^{-1}$) + inseticidas à base de Lufenuron ($0,150 \text{ L.ha}^{-1}$) + Lambda-cialotrina ($0,100 \text{ L.ha}^{-1}$) + regulador de crescimento contendo Cinetina, ácido giberélico e ácido 4-indol 3-ilbutírico ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$) + composto nutricional Niphokan ($1,0 \text{ L.ha}^{-1}$). Em 28/12/2021 realizou-se a segunda pulverização, aplicando-se fungicidas à base de Epoxiconazol, Fluzapiraxada e Piraclostrobina ($0,8 \text{ L.ha}^{-1}$) + Mancozeb ($1,5 \text{ Kg.ha}^{-1}$) + espalhante adesivo ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + óleo mineral ($0,200 \text{ L.ha}^{-1}$) + inseticidas a base de Tiametoxan e Lamba-cialotrina ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$) + Metoxifenoazida ($0,150 \text{ L.ha}^{-1}$) + Metomil ($1,00 \text{ L.ha}^{-1}$) + regulador de crescimento contendo Cinetina, ácido giberélico e ácido 4-indol 3-ilbutírico ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$) + Quimifol florada ($1,0 \text{ L.ha}^{-1}$) + MAP purificado ($1,0 \text{ Kg.ha}^{-1}$). Vinte dias após, em 18/01/2022 realizou-se a terceira aplicação com fungicidas à base de Azoxistrobina, Maconzeb e Tebuconazol ($2,0 \text{ Kg.ha}^{-1}$) + espalhante adesivo ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + óleo mineral ($0,2 \text{ L.ha}^{-1}$) + inseticidas à base de Tiametoxan e Lambda-cialotrina ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$) + Lufenuron ($0,15 \text{ L.ha}^{-1}$) + Clorpirifos ($1,0 \text{ L.ha}^{-1}$) + composto nutricional com Co e Mo ($0,2 \text{ L.ha}^{-1}$) + MAP purificado ($1,0 \text{ Kg.ha}^{-1}$). Já a quarta pulverização, foi feita em em 07/02/2022, aplicando-se fungicida à base de Difenconazol e Ciproconazol ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$) + fungicida à base de Clorotalonil ($1,0 \text{ L.ha}^{-1}$) + espalhante adesivo ($0,05 \text{ L.ha}^{-1}$) + inseticidas a base de Acefato ($1,0 \text{ Kg.ha}^{-1}$) + Metoxifenoazida ($0,15 \text{ L.ha}^{-1}$) + Lambda-ciolatrina ($0,1 \text{ L.ha}^{-1}$) + Acetamiprido e Piriproxifem ($0,3 \text{ L.ha}^{-1}$).

Visando verificar como as fontes e doses de potássio afetaram os atributos químicos do solo, e principalmente seu teor de potássio, quando as plantas de soja estavam em fase de senescência das folhas, em 23/02/2022 foram coletadas amostras de solo para análise química na camada de 0,0-0,20 m de profundidade. Para isso, em cada parcela experimental foram coletadas quatro amostras simples, sendo o solo depositado em um balde plástico. Posteriormente este solo foi homogeneizado, formando uma amostra composta, da qual foi retirada uma alíquota de aproximadamente 0,5 kg para realização das análises químicas.

Na sequência, estas amostras de solo foram postas para secar a sombra e em seguida passadas em peneira com malha de 2,00 mm. Posteriormente foram encaminhadas para o laboratório para

realização das análises químicas. Seguindo os protocolos descritos em Embrapa (2017) foi determinado o pH em CaCl_2 , os teores de Ca e Mg trocáveis por espectrometria de absorção atômica, o teor de P em espectrofotômetro UV-Vis, o teor de K em espectrofotômetro de chama, os valores de H, Al por titulometria e o teor de matéria orgânica, através do teor carbono orgânico obtido por via úmida e oxidado por dicromato de potássio. Posteriormente, com os valores destes parâmetros químicos calculou-se a CTC total do solo, saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%), relação Ca/Mg, % de Ca, Mg e K na CTC.

Após tabulação dos dados, realizou-se a análise de variância utilizando-se o programa SASM – Agri para verificar se houve ou não efeitos dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Quando identificada diferença significativa, os tratamentos qualitativos foram comparados por meio do teste de Tukey ($P < 0,05$). Já os quantitativos, por modelo regressão linear ou polinomial de segunda ordem, conforme cada caso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o efeito isolado dos fatores, observa-se na Tabela 1 que as fontes de potássio (pó de rocha e KCl) afetaram de forma significativa ($P < 0,05$) o teor de Ca, Ca+Mg e H+Al e altamente significativa ($P < 0,01$), a CTC do solo. Com relação a interação dos fatores (fonte x dose de K_2O), observou-se efeito altamente significativo para o teor de K^+ no solo, bem como na % K na CTC do solo.

Tabela 1 – Valores de F e nível de significância para os atributos químicos pH, teores de Ca (cálcio), Mg (magnésio), Ca + Mg, alumínio (Al), H + Al, Capacidade de Troca Catiônica (CTC), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), saturação por alumínio (m%), saturação de bases (V%), relação Ca/Mg e % de Ca, Mg e K na CTC na camada de 0,0 -0,20m de profundidade em função das fontes e doses de K_2O testadas. Montes Claros de Goiás, 2022.

Variável	Fonte de K_2O (f K_2O)	Dose de K_2O (d K_2O)	Interação (f K_2O) x (d K_2O)	C.V.
pH (CaCl ₂)	0,62 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,08 ^{ns}	2,3
Calcio (Ca)	6,89*	0,98 ^{ns}	0,86 ^{ns}	13,2
Magnésio (Mg)	0,93 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,11 ^{ns}	17,5
Ca + Mg	5,22*	0,89 ^{ns}	0,52 ^{ns}	13,1
Al	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00
H + Al	4,75*	0,53 ^{ns}	1,01 ^{ns}	30,2
CTC	7,99**	0,56 ^{ns}	0,81 ^{ns}	13,2
P (ppm)	0,59 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,42 ^{ns}	35,4
K (ppm)	36,55**	6,95**	10,92**	31,1
M.O.	0,02	0,52	1,23	19,2
m (%)	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00
V (%)	2,01 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,79 ^{ns}	8,7
Ca/Mg	0,91 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,65 ^{ns}	14,2
%Ca na CTC	0,11 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,78 ^{ns}	8,9
%Mg na CTC	1,67 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,62 ^{ns}	15,2
H+Al na CTC	2,03 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,85 ^{ns}	21,4
%K na CTC	37,65**	7,57**	10,7**	37,4

** significativo a 1,0%, *significativo a 5,0%, ^{ns} não significativo, C.V.: coeficiente de variação.

Quanto ao efeito isolado das fontes de potássio, observava-se na Figura 1 A, que com a utilização do pó de rocha houve incremento no teor de Ca^{2+} do solo. Quando comparado com o teor de Ca nas parcelas em que se aplicou KCl, seu uso proporcionou incremento de 10,7%. Segundo, Souza (2019) e Alovisi *et al.* (2020), os remineralizadores possuem poder residual no solo e são capazes de fornecer nutrientes, principalmente fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes essenciais para as plantas.

O Cálcio (Ca^{2+}) é um dos macronutrientes secundários mais requeridos pela soja. De acordo com Taiz *et al.* (2017), este elemento é constituinte da lamela média das paredes celulares, além de ser requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de

fosfolipídios, atuando também como mensageiro secundário na regulação metabólica. Além disso, contribui para a germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, auxiliando na disponibilidade de molibdênio e outros micronutrientes para as plantas. No solo, atua como agente redutor da acidez, diminuindo a toxidez de alumínio, cobre e manganês.

Com respeito aos teores de Ca+Mg, a aplicação do pó de rocha também proporcionou incremento na soma dos teores desses elementos (Figura 1), possivelmente resultante do aumento no teor de Ca^{2+} (Figura 1A). Para o Mg^{2+} , apesar de não ter sido observado efeito significativo para o pó de rocha, esse proporcionou incremento de 4% no teor deste elemento disponível no solo, afetando de forma positiva a relação Ca+Mg, que ficou 9,16% maior do que a observada nas parcelas em que se utilizou o KCl. Spido (2019), testando pó de rocha contendo nefelina-sienito, verificou que os teores de Mg^{2+} não modificaram, fato que pode estar associado ao baixo teor deste elemento na rocha, bem como a sua baixa solubilização e posterior liberação para a solução do solo. No presente trabalho, o aumento do teor de Ca+Mg pode ser em função do teor de augita existente no pó de rocha KMC. Conforme laudo mineralógico, este mineral primário representa 6,14% na composição química da rocha, sendo rico em vários micronutrientes fundamentais para as plantas, bem como em Ca e Mg.

O magnésio assim como o Ca^{2+} , é um nutriente que desempenha várias funções importantes na planta. Ele é um integrante da molécula de clorofila, mais especificamente na unidade de porfirina, é estabilizador da estrutura dos ribossomos e liga as moléculas de ATP aos sítios ativos das enzimas, além de ser ativador de como a ribulosebifosfato e a fosfoenolpiruvato carboxilase (Paulilo *et al*, 2015). Resultado semelhante a este trabalho, foi encontrado por Santos (2020), quando após sete anos da aplicação do pó de rocha composta por vermiculita, muscovita, talco, quartzo, dolomita, anfibólio, serpentina e plagioclásio, observou aumento na disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SB no solo. Para Ca^{2+} o aumento foi de $11,25 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e para Mg^{2+} de $6,25 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada 0-0,20 m.

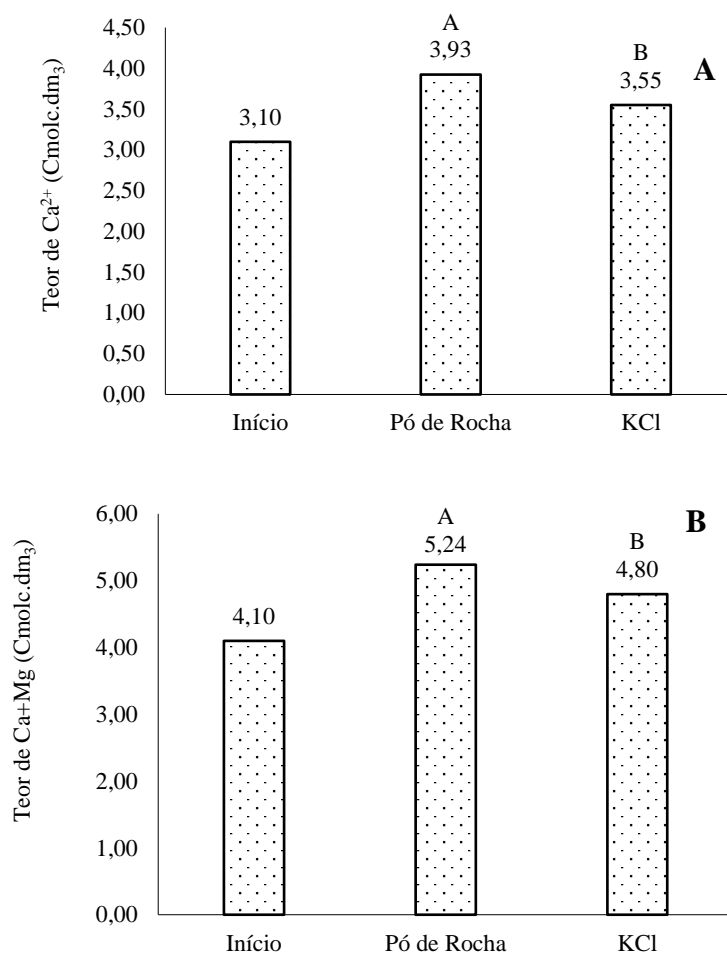


Figura 1. Efeito isolado das fontes de potássio (pó de rocha KMC e KCl) para o teor de Ca²⁺ (A), Ca +Mg (B), na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade. Montes Claros de Goiás, 2022.

Em relação ao teor de H+Al, quando comparado com o valor observado nas parcelas utilizando como fonte de potássio o KCl, nota-se que com a utilização do pó de rocha houve aumento de 20,9 % nesta variável, (Figura 2A). Esse aumento da acidez potencial do solo (H+Al) pode estar associada ao processo de dissolução de minerais primários das partículas de menor tamanho, presentes no pó de rocha KMC tais como nefelina, augita, microclínio e ortoclásio, os quais contêm Al³⁺ em seu arcabouço estrutural (Swoboda *et al.* 2022; Samantray *et al.* 2022), que ao sofrerem o processo de dissolução e biodissolução (Schueler *et al.*, 2021), mesmo que parcialmente dissolvidos, acabam liberando Al³⁺ e H⁺ para o solo. Além disso, outro fator que possa ter contribuído para o aumento da acidez potencial, possa ser em virtude da decomposição da matéria orgânica, sendo que a ação de microrganismos na decomposição de resíduos vegetais (mineralização e formação de substâncias húmicas); durante o processo de absorção de nutrientes pelas plantas, que é seguido da liberação pelas raízes de íons H⁺ ou OH⁻, resultando no seu aumento. Contrariamente, Spido (2019) constataram redução nos valores de

H+Al em função do aumento da dose de pó de rocha em solo de textura média/argilosa sendo este classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

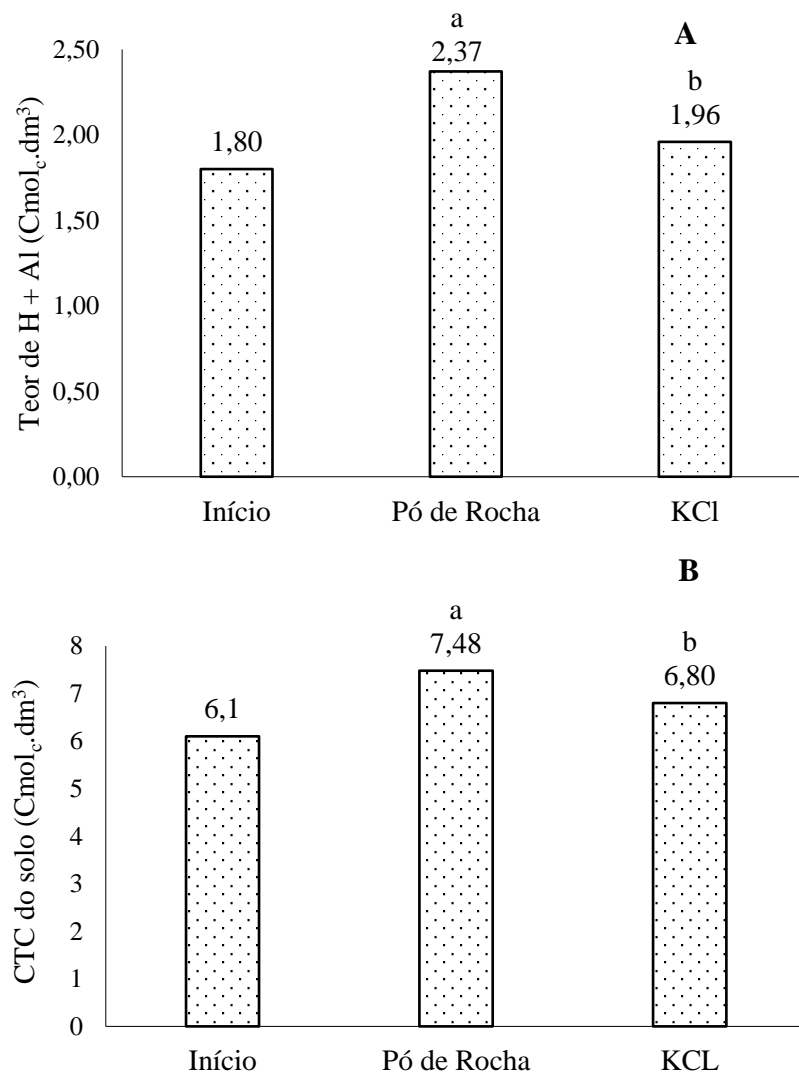


Figura 2. Efeito isolado das fontes de potássio (pó de rocha KMC e KCl) para o teor de H + Al (A), e CTC do solo (B), na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade; Montes Claros de Goiás, 2022.

Mesmo tendo ocorrido alterações significativas no teor de H+Al, esta não foi suficiente para modificar o pH do solo, não sendo observada diferença significativa entre as fontes de potássio para esta variável, que ficou com valor médio de 5,6. Diferentemente em outros trabalhos, o aumento do pH do solo tem sido amplamente relatado por diversos estudos após aplicação de pó de rocha. Santos (2020) observou incremento do pH do solo, sendo este associado a presença de minerais máficos em maiores quantidades e com maior teor de elementos básicos nos pós de rochas utilizados.

Resultado similar ao do H+Al também foi observado para a CTC do solo, variável na qual o uso do pó de rocha como fonte de potássio proporcionou incremento de 10,0% nas cargas negativas do solo, quando comparado com a CTC obtida nas parcelas em que se aplicou o KCl (Figura 2 B). Considerando que com a aplicação do pó de rocha estão sendo disponibilizado ao solo vários minerais primários, os quais, dependendo de sua composição química e tamanho da partícula, acabam sofrendo o processo de dissolução (Swoboda *et al.* 2022), muitas vezes acelerado pelos microrganismos existentes (Schueler, 2021), favorece a liberação de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H+Al para o solo, resultando no incremento de sua CTC. Santos (2020), após dois anos de aplicação do pó de rocha, também obteve aumento da capacidade de troca de cátions do solo, considerado por Silva *et al.* (2017), este como sendo um efeito secundário de sua utilização.

Em relação ao teor de K^+ no solo, o uso de KCl proporcionou incremento no teor deste elemento na camada de 0,0-0,20 m (Figura 3). Ao aplicar a dose de 400 kg ha^{-1} de K_2O com esta fonte, houve incremento de 83,96% quando comparado ao teor inicial. Já com a utilização do pó de rocha, considerando esta mesma dose, houve redução de aproximadamente 46,56% no teor de K^+ disponível no solo. Considerando que a liberação de K^+ do pó de rocha é mais lenta quando comparado ao KCl, bem como não houve diferença entre as fontes de K_2O na produtividade de soja e maior produção de grãos foi obtida nas doses mais elevadas de K_2O aplicadas, o maior desenvolvimento das plantas e produtividade observada acabou extraindo maior quantidade do potássio do solo, conseqüentemente resultando na redução do seu teor. Além disso, de acordo com os resultados obtidos, o pó de rocha de nefelina-sienito é uma fonte que possivelmente necessita de um maior de intemperismo para liberar o potássio. Apesar da velocidade de disponibilização de nutrientes ser baixa, provavelmente esses materiais contêm potássio não trocável que pode eventualmente ser absorvido pelas plantas. No entanto, com o seu uso no decorrer dos anos, por efeito acumulativo da dissolução dos minerais primários presentes na rocha nefelina-sienito, o teor de K^+ do solo possa vir a aumentar. Para Samantray *et al.* (2022), o uso de rochas silicáticas contendo feldspatos potássicos e minerais micáceos do grupo dos filossilicatos que podem conter de 5,0 a 15,0% de K_2O , mesmo que a maior parte deste elemento esteja na forma insolúvel, devido abundância existente deste material rochoso, é uma alternativa para compensar o déficit de potássio no solo.

Corroborando com esta informação, Korndörfer *et al.* (2020), relatam que a aplicação das fontes solúveis KCl e KNO_3 resultou em maiores teores de K trocável (Mehlich^{-1}) e (Resina) nas camadas mais profundas de solo, fato não observado nas parcelas nas quais aplicou-se o pó de rocha KMC. Todavia com a aplicação do KMC quando comparado com as parcelas na qual se aplicou KCl, estes autores relatam acréscimos de $12,4 \text{ mg dm}^{-3}$, para os teores de K^+ trocável

(Mehlich⁻¹) na camada 0-0,05 m de profundidade, e quando determinado pelo K⁺ trocável (Resina), teores semelhantes de potássio às fontes solúveis convencionais até 0,15 m a profundidade do solo.

A respeito do pó de rocha nefelina-sienito, Manning (2018) e Spido (2019), destacam efeito positivo na liberação de K⁺, os quais independentemente da granulometria e dose utilizada verificaram sua solubilização, disponibilizando K⁺ para o solo. Conforme laudo mineralógico, na composição do pó de rocha KMC existem minerais primários como microclínio, ortoclásio, nefelina e a augita, que são fontes de potássio para o solo. Além disso, esta rocha contém vários outros micronutrientes de interesse agrônômico para o desenvolvimento das plantas, como Fe, Zn, Ni, Cu, Mo, fazem parte da composição química destes minerais primários.

A composição mineralógica possui relação com o potencial de suscetibilidade dos minerais ao intemperismo. Fase amorfa e microcristalina são as que apresentam maior predisposição à alteração por oxidação, na sequência, encontram-se os minerais pertencentes ao grupo dos feldspatos e piroxênios (Medeiros *et al.* 2021). Considerando que o pó de rocha KMC possui elevada quantidade de minerais caracterizados como feldspatoides potássicos, estes podem durante seu processo de oxidação e intemperismo ser fonte de K⁺ para o solo. Além disso, em sua composição há também elevada porcentagem de silício (Si), que pode ser disponibilizado às plantas, principalmente em solos de regiões tropicais, em que comumente perdido por lixiviação. O Si é um elemento que contribui para maior resistência a estresses tornando-a mais tolerante a doenças e pragas, proporciona maior resistência ao acamamento, ao encharcamento, a seca e geadas, bem como pode neutralizar ou reduzir a efeitos tóxicos de metais pesados, como manganês e alumínio (Lima Filho, 2005).

Os feldspatoides como a nefelina, podem possuir menores teores de Si e K, quando comparados ao feldspato, porém eles apresentam maiores taxas de intemperismo. Para Manning, (2018), em determinada rocha não se deve considerar somente o conteúdo geral de um elemento que se tem interesse, mas principalmente as taxas de dissolução de seus minerais constituintes. Nesse sentido, o tamanho das partículas da rocha influencia também diretamente as taxas de intemperismo, em virtude da área de superfície reativa, que aumenta com a redução do tamanho da partícula (Swoboda *et al.* 2022). Assim, o teor de K⁺ do solo, bem como dos demais macro e micronutrientes, podem no decorrer do tempo e com o uso do pó de rocha KMC, gradativamente sofrerem incrementos. Desse modo, este tipo de rocha pode vir a ser uma alternativa viável na agricultura como remineralizadores, porém é necessário mais estudo para testar sua eficiência.

Korndörfer *et al.* (2020), em ensaio com lisímetro constatou através da análise do líquido lixiviado, que maiores teores de K⁺ trocável foram obtidos com a aplicação das fontes solúveis

KCl e KNO₃, quando comparado com o pó de rocha KMC. Este fato pode estar associado a menor solubilidade do pó de rocha KMC em água, proporcionando liberação mais lenta do K⁺ para o solo, enquanto para o KCl e o KNO₃ devido sua elevada solubilidade, todo potássio foi liberado para solução do solo em curto período, que associado com a baixa capacidade de troca catiônica dos solos do Cerrado, favorece para maiores perdas por lixiviação (Sousa & Lobato, 2004).

Por outro lado, Leandro *et al.* (2019) verificaram que em solos argilosos cultivado com milho, as doses de pó de rocha KMC não conseguiram atingir os níveis obtidos com o KCl, porém estes autores relatam que há liberação de potássio da rocha como material secundário para o solo. Já na cultura da soja, o pó de rocha aumentou os teores de K⁺, porém foram incrementos menores que as demais fontes de referência.

Com o incremento das doses de KCl aplicado ao solo, houve incremento linear nos teores de K no solo (Figura 3). Conforme modelo obtido, cada 10 kg de K₂O aplicado resultou num incremento de 2,05 mg.dm⁻³ no solo. Desta forma, para manter os teores iniciais torna-se necessário a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de K₂O, que equivale a 258,6 kg ha⁻¹ de KCl.

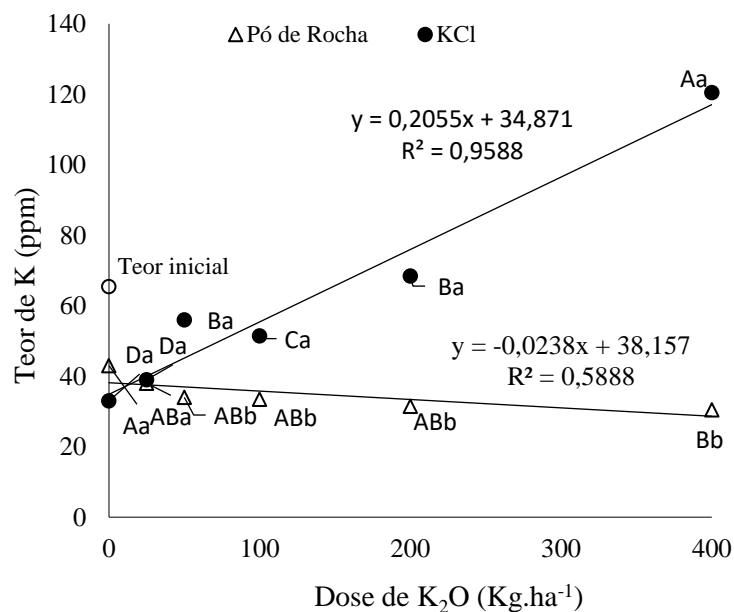


Figura 3. Teor de potássio do solo na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade em função da iteração dos fatores fontes de potássio e doses de K₂O e modelo de regressão linear. Montes Claros de Goiás, 2022. Médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro de cada fonte de potássio e minúscula entre as doses testadas não diferem estatisticamente ao teste de Tukey a 5,0%.

Comportamento contrário foi observado para o pó de rocha KMC, no qual houve uma redução no teor de K⁺ do solo independente da dose utilizada, fato que pode estar associado a

maior remoção deste elemento, uma vez que nas doses mais elevadas obteve-se maior produtividade da soja, conforme já relatado.

A disponibilidade de K^+ nos solos é dependente de sua mineralogia, assim os minerais primários que contêm potássio em maior abundância são os feldspatos potássicos (microclíneo, ortoclásio e nefelina), presentes na rocha KMC e as micas (biotita e muscovita). Com o processo de intemperismo e dissolução destes minerais primários, forma-se os minerais secundários como argilas 2:1 ilita, vermiculita e montmorolita, contribuindo no incremento da CTC do solo, e consequentemente na manutenção do potássio no solo (Novais, 2007).

Na região do Cerrado por existir solos altamente intemperizados, a interação da baixa capacidade de troca de cátions do solo com o clima, que possui elevada pluviosidade em determinada época do ano, faz com que os fertilizantes solúveis sejam facilmente lixiviados. Desse modo Swoboda *et al.* (2022) e Samantray *et al.* (2022) mencionam que o pó de rocha ao sofrer a ação do intemperismo, traz benefícios pois promove efeitos residuais com os sucessivos cultivos, contribuindo para a formação de minerais secundários e consequentemente elevando a CTC do solo, além disso, promove redução das perdas por lixiviação dos nutrientes na solução do solo, com destaque para o potássio.

Quanto a % de K na CTC do solo na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade (Figura 4), o uso de KCl proporcionou maiores valores quando comparado com o pó de rocha. Deste modo, quando comparado com o teor inicial, a aplicação de 400 kg ha^{-1} de K_2O via KCl resultou no incremento de 78,57 % de K^+ na CTC do solo. Já com a utilização do pó de rocha KMC, com a aplicação e 400 kg ha^{-1} de K_2O , houve redução de 36,6% nesta variável.

Marques (2021), buscando por fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar, observou que as fontes KCl, pó de rocha KMC e polissulfato mostram-se eficientes quanto % K^+ na CTC do solo na camada de 0-0,20 m, com valores respectivamente de 2,25; 2,28 e 2,10%, considerados adequados para solos do Cerrado, uma vez que valores superiores a 3,0% poderiam resultar em maiores perdas por lixiviação (Souza & Lobato, 2004).

Desse modo analisando a Figura 4 e considerando o limite percentual de K^+ na CTC do solo de 3,0%, com o uso de KCl a dose de 200 kg ha^{-1} de K_2O ficou a mais próxima deste valor. Já para dose mais elevada (400 kg ha^{-1}) o valor foi de 5,0%, indicando que poderá haver perdas de potássio por lixiviação. Por outro lado, ao usar o pó de rocha, independente da dose utilizada o percentual de K^+ na CTC do solo ficou próximo a 1,0%, com menores valores nas doses mais elevadas. Conforme já comentado, esta redução pode estar associada ao maior desenvolvimento das plantas e produtividade da soja, que associado com a lenta dissolução quando comparado com fertilizantes como o KCl, resultou em maior extração deste elemento do solo.

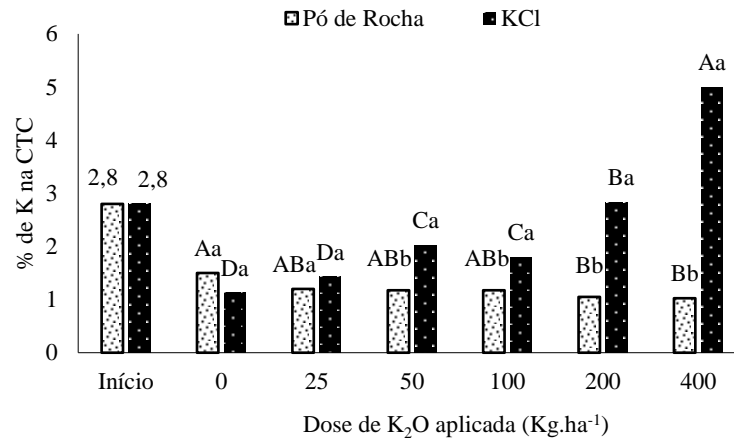


Figura 4. Efeito da interação dos fatores fontes de potássio e doses de K₂O para a % de K na CTC do solo na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade. Montes Claros de Goiás, 2022. Médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro de cada fonte de potássio e minúscula entre as doses testadas não diferem estatisticamente ao teste de Tukey a 5,0%.

A despeito do pó de rocha KMC ser fonte promissora de potássio para a região, levando em consideração os baixos teores de % de K⁺ na CTC do solo, é necessário que sejam desenvolvidos trabalhos nos quais sejam avaliados seus efeitos nas culturas subsequentes como o milho safrinha e principalmente no decorrer dos anos, em áreas em que seu uso é frequente, uma vez que devido sua lenta solubilização, pode gradativamente resultar em maior disponibilidade de potássio, bem como melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Apesar dos resultados promissores, torna-se necessário mais estudos quanto ao uso do pó de rocha nefelina-sienito com fonte de potássio em sistemas produtivos, uma vez que devido sua menor solubilidade e necessitar da dissolução dos minerais para liberação do K⁺, o uso do mesmo no decorrer dos cultivos pode resultar em efeitos acumulativos, devendo ser melhor elucidado.

CONCLUSÕES

O uso do pó de rocha KMC no cultivo da soja foi eficiente em proporcionar melhorias nos atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,20m, aumentando os teores de Ca, Ca+Mg e a CTC do solo, porém devido sua menor solubilidade, independente da dose utilizada, não aumentou os teores de potássio.

Doses mais elevadas de K₂O usando com fonte o KCl resultaram em incremento linear na disponibilidade de K⁺ no solo, no entanto, podem levar a maiores perdas por lixiviação, uma vez que este elemento apresenta fraca interação com os colóides do solo.

Apesar de promissor, é necessário um período maior de avaliação quanto ao uso do pó de rocha KMC com fonte de potássio na agricultura, uma vez que por sua menor solubilidade e necessitar da dissolução dos minerais para liberação do K^+ e pode gradativamente no decorrer do tempo contribuir para maior disponibilidade de potássio às plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alovisi, A.M.T.; Taques, M.M.; ALOvisi, A.A.; Tokura, L.K.; Da Silva, J.A.M.; Cassol, C.J. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 918-932, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020918-932>.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.8- Safra 2020/21, n.12- Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2021.

Gama, M.A.P.; Matos, G.S.P.; Silva, G.P.; Neto, A.A.L.M.; Rochagem e remineralização do solo. Apostila de Fertilidade do solo. Módulo III. Belém- Pará, 2020.

Hirakuri, M.H.; Lazzarotto, J.J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p.

Korndorfer, G.H.; Santos, G.A.; Gualberto, C.A.C. Estudo da mobilidade do potássio (K) proveniente da nefelina-sienito, no perfil do solo (EDEM). Relatório Final. Uberlândia, MG, 2020.

Leandro, W.M.; Júnior, J.P de O.; Brasil, E.P.F.; Eficiência da remineralização do solo com rocha potássica na produção de forragem. Escola de agronomia e engenharia de alimentos. Goiânia, Go, 2019.

Lima Filho, O.F. O silício é um fortificante e antiestressante natural para as plantas. Belo Horizonte: SiliFertil, 2005.

Manning, D.A.C. Innovation in resourcing geological materials as crop nutrients. *Natural Resources Research*, v. 27, n. 2, 2018.

Marcante, N. Eficiência agrônômica do potássio natural KMC no cultivo de sucessão soja-milho. Mineagro pesquisa e desenvolvimento. Brasília, 2021.

Marques, E.P. Fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2021.

Medeiros, D.S.; Sanchotene, D.M.; Ramos, C.G.; Oliveira, L.F.S.; Sampaio, C.H.; Kautzmann, R.M.; Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021.

Moretti, L.G.; Bossolani, J.W.; Crusciol, C.A.C.; Moreira, A.; Micheri, P.H.; Rossi, R.; Imaizumi, C. Dunite in agriculture: physiological changes, nutritional status and soybean yield. *Communications in soil science and plant analysis*. Volume 50, issue 14, 2019.

Novais, R.F.; Alvarez V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Ed.) *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

Paulilo, M.T.S.; Viana, A.M.; Randi, A.M. *Fisiologia Vegetal*. Florianópolis: Biologia/EAD/UFSC. 2015, 182p.

Ramos, C.G.; Querol, X.; Oliveira, M.L.S.; Pires, K., Kautzmann, R.M.; Oliveira, L.F.S.; A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Sci. Total Environ*. 512e513, 371 e 380, 2015.

Samantray, J.; Anand, A.; Dash, B.; Ghosh, M.K.; Behera, A.K. Silicate minerals - Potential source of potash - A review. *Minerals Engineering* 179, 2022.
DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107463

Santos, R.A. Avaliação da capacidade de troca de cátions (CTC) em pó de rocha e solo que recebeu aplicação. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de atuação: Ecologia aplicada. USP, Piracicaba, 2020. 74p.

Schueler, T.A.; Dourado, M.L.; Videira, S.S.; Cunha, C.D.; Rizz, A.C.L.; Biosolubilization of verdete: An alternative potassium source for agriculture fertilizer. Centre for Mineral Technology, Coordination of Metallurgical and Environmental Process, Laboratory of Biotechnology, Av. Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, 21941-908, Brazil, 2021.

Silva, R.R.; Carvalho, I.S.B.; Rocha, S.D.F. Transformações químicas e mineralógicas em mistura de rocha potássica e calcário submetida a processo térmico visando a liberação do potássio contido. *Tecnol em Metal Mater e Mineração*, 2018. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20181473>

Silva, R.C.; Cury, M.E.; Ieda, J.J.C.; Sermarini, R.A.; Azevedo, A.C. Chemical attributes of a remineralized Oxisol. *Ciência Rural*. 47, 1-10. 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160982>

Sousa, D.M.G.; Lobato, E.; Cerrado correção do solo e adubação. 2ª Edição, Embrapa informações tecnológicas, Brasília-DF, 2004.

Spido, D.R.R. Avaliação do potencial agrônômico dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito como remineralizadores de solo. Dissertação Mestrado em Ciência do Solo. UDESC, Lages, SC, 2019. 85 p.

Swoboda, P.; Doring, T.F.; Hamer, M.; Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of the Total Environment*. 2022. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150976.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

Werle, R.; Garcia, R.A.; Rosolem, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2297-2305, 2008.