



Eficiência agronômica do pó de rocha nefelina sienito, avaliada em Latossolo Amarelo cultivado com milho. Agronomic efficiency of nepheline syenite rock powder, evaluated in a Yellow Latosol cultivated with millet.

[João Paulo Santos Medeiros](#)¹, [Ellen Francine Barbosa Neves](#)¹, [Alayane Marçal Reis](#)¹, [Denilson Silva Sousa](#)², [Kamila Araujo de Sousa Nascimento](#)², [Dilaine Suellen Caires Neves](#)^{3*}, [Vanêssa Brito Fernandes Neves](#)⁴, [Orlando Silvio Caires Neves](#)⁵

¹- Discente do Curso de Biologia, IMS, UFBA , Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

²- Discente do Curso de Biotecnologia, IMS, UFBA , Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

³- Servidora Técnica de Laboratório, Instituto Multidisciplinar em Saúde – IMS, Universidade Federal da Bahia – UFBA , Rua Hormindo Barros, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias, CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. *E-mail: dilainecaires12@gmail.com

⁴- Docente da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB , Estrada do Bem Querer s/n, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

⁵- Docente do Instituto Multidisciplinar em Saúde – IMS, Universidade Federal da Bahia – UFBA , Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

Resumo

Para melhorar a qualidade do solo em atividades agrícolas, o Brasil recorre a alternativas como a aplicação de fontes solúveis de nutrientes, tornando muitas vezes o país dependente do mercado externo. Nesse cenário o pó de rocha nefelina sienito se mostra como uma opção promissora como remineralizador de solos, cumprindo as normas exigidas para tal. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agronômica do pó da rocha nefelina sienito como remineralizador de solos. Os tratamentos foram compostos por doses de nefelina (200, 400, 600, 800 e 1.000 mg de K dm⁻³) do pó de rocha (baseadas no fornecimento de potássio), uma testemunha absoluta (sem adição de fontes de potássio) e uma testemunha positiva (sem pó de rocha e com adubação na forma de KCl). A solubilização lenta e o efeito residual no solo do pó de rocha nefelina sienito, sobretudo em relação ao potássio, o tornam alternativa viável para ser utilizado como fonte alternativa de fertilizante agrícola.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum* (L.). Nutrição de plantas. Remineralizador de solo.

Abstract

To improve agricultural soil quality, Brazil resorts to alternatives such as the application of soluble nutrient sources, often making the country dependent on the foreign market. Nepheline syenite rock powder appears to be a promising option as a soil remineralizer. The objective of the present study was to evaluate the agronomic efficiency of nepheline syenite rock powder as a soil remineralizer. The treatments consisted of nepheline doses (200, 400, 600, 800, and 1,000 mg of K dm⁻³) of rock powder (based on potassium supply), an absolute control (without the addition of potassium sources), and a positive control (without rock powder and with fertilization in the form of KCl). The slow solubilization and residual effect in the soil of nepheline syenite rock powder, especially with regard to potassium, make it a viable alternative for use as an alternative source of agricultural fertilizer.

Keywords: *Pennisetum glaucum* (L.). Plant nutrition. Soil remineralizer.



Introdução

Por conta da sua extensão territorial e clima adequado para diversas culturas agrícolas, o Brasil vem se destacando mundialmente nesse cenário, porém, embora as atividades agrícolas sejam produtivas e rentáveis, o país possui solos intemperizados e ácidos, consequentemente, com baixa disponibilidade de nutrientes (ALMEIDA et al., 2022; RABEL et al., 2018).

Por esse motivo, diversas alternativas são adotadas para aprimorar a qualidade dos solos nas atividades agrícolas do país, como a utilização massiva de fontes solúveis de nutrientes que muitas vezes faz do Brasil dependente da extração e produção externa desses recursos (ALMEIDA et al., 2022; MANNING; THEODORO, 2020). Devido ao seu grande potencial geológico e diversidade, além de investimentos significativos e contínuos em infraestrutura e tecnologia, o Brasil tem ocupado posição de destaque no cenário mundial da mineração, gerando preocupação acerca do esgotamento desses recursos num âmbito mundial (MANNING, 2015). Dessa forma, a busca por caminhos alternativos de prover esses nutrientes ao solo é incentivada, sendo uma dessas formas, a utilização de pós de rochas como remineralizadores de solos (ZHANG et al., 2018), que vem sendo estudados como alternativa para promover a qualidade dos solos, e como meio de reaproveitamento dos resíduos da mineração de recursos geológicos naturais (CHRISTMANN, 2018).

Os remineralizadores (RMs) são formados a partir de rochas trituradas, que são aplicadas no solo visando uma melhoria da sua qualidade, e consequentemente a melhoria da qualidade das culturas vegetais, tais como aumento da produtividade de biomassa, expansão foliar, e melhoria no peso seco vegetal (ALMEIDA et al., 2022; PEREIRA et al., 2021; RABEL et al., 2018). No entanto, ainda é necessário que os efeitos dos pós de rochas sejam estudados, visando um melhor entendimento das funções e qualidades de cada tipo de rocha utilizada, assim como seu papel na agricultura (SILVA et al., 2017; ALMEIDA et al., 2022). A Instrução Normativa (IN) nº 53/2013 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), traz a definição, normatização e regras para comercialização dos remineralizadores (D'OLIVEIRA et al., 2023). A IN nº 53/2013 (MAPA, 2013) determina que o remineralizador de solos tenha as seguintes garantias mínimas, definidas em cinco critérios: soma de bases totais ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) no mínimo 9%; teor mínimo de K_2O total de 1%; conteúdo máximo de 25% de quartzo (sílica livre); concentrações máximas de elementos potencialmente tóxicos (arsênio: 15 ppm; cádmio: 10 ppm; mercúrio: 0,1 ppm; chumbo: 200 ppm).

Neste cenário, o pó da rocha nefelina sienito se mostra como um potencial remineralizador de solos, por ser uma rocha ígnea rica em feldspatos sódicos, praticamente livre de quartzo, com a presença de minerais ferromagnesianos, tais como: piroxênio sódico, anfíbio alcalino e biotita. A rocha apresenta composição química aceitável para uso como remineralizador, no que diz respeito às especificações de soma dos álcalis (K_2O , CaO e MgO) que é de 9,2%, ausência de quartzo (sílica livre) e concentrações de elementos deletérios abaixo dos valores críticos, conforme IN 5/2016 (FRANÇA et al., 2019). Além disso, testes do pó da rocha nefelina sienito, em culturas de soja, demonstram que o mesmo possui efeitos semelhantes ao KCl , e que, mesmo com baixa solubilidade é eficiente na disponibilidade de K^+ para as plantas (FREIRE et al., 2023). No entanto, novas pesquisas com diferentes abordagens devem ser realizadas.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica do pó da rocha nefelina sienito como remineralizador de solos, em culturas de milho plantada em Latossolo Amarelo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto Multidisciplinar em Saúde, *Campus* Anísio Teixeira, da Universidade Federal da Bahia (IMS-CAT-UFBA), localizada na cidade de Vitória da Conquista – BA, onde as plantas (todos os tratamentos) foram cultivadas em vasos com a capacidade para sete litros, que foram preenchidos com Latossolo Amarelo coletados na região sudoeste da Bahia, cujos resultados das análises físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das análises física e química do Latossolo Amarelo (LA) antes da incubação. Laboratório Campo Análises.

Parâmetro	Unidade	LA
pH em água	-	4,29
Matéria orgânica	dag kg ⁻¹	1,95
pH CaCl ₂	-	3,35
Carbono total	dag kg ⁻¹	1,13
Potássio – K	mg dm ⁻³	80,35
Fósforo – P (Melich)	mg dm ⁻³	1,36
Enxofre – S	mg dm ⁻³	1,93
Cálcio – Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,91
Magnésio – Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,41
Alumínio – Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,32
Acidez potencial – H+Al	cmol _c dm ⁻³	3,3
CTC efetiva	cmol _c dm ⁻³	1,85
CTC a pH 7	cmol _c dm ⁻³	4,83
Saturação por bases – V%	%	32
Saturação por alumínio – m%	%	17
Boro – B	mg dm ⁻³	0,59
Cobre – Cu	mg dm ⁻³	0,22
Ferro – Fe	mg dm ⁻³	84,16
Manganês – Mn	mg dm ⁻³	7,86
Zinco – Zn	mg dm ⁻³	0,6
Areia	%	59
Silte	%	5
Argila	%	36

Os solos foram coletados em ambiente de mata um uma camada de 0 a 20 cm, desprezando a serrapilheira. Após coletados, os solos foram secos ao ar, peneirados em malha de 4 mm e homogeneizados.

O pó de rocha estudado foi de nefelina sienito (pó – 100% passante em peneira de 2,0 mm), advinda do resíduo do beneficiamento para a indústria, em estoque numa pilha, na região de Itarantim-BA. A análise granulométrica, apresentada na Tabela 2, foi realizada pelo laboratório LABORGE, utilizando-se a metodologia NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Foram realizadas análises mineralógicas/petrográficas do pó de rocha, além da caracterização química (teores totais de óxidos maiores e de elementos potencialmente tóxicos do produto objeto do estudo). As análises foram realizadas em laboratórios de instituições credenciadas por órgãos oficiais. Em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no remineralizador, segundo especificações e garantias contidas na IN nº 53/2013 (MAPA, 2013), para registro os teores devem ser, no máximo: Arsênio (As): 15 ppm; Cádmio (Cd): 10 ppm; Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e Chumbo (Pb): 200 ppm.

Os resultados obtidos para o pó de rocha nefelina sienito, em laudo emitido pelo IBRA (Instituto Brasileiro de Análises) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica da amostra do pó de rocha nefelina sienito, obtida pela metodologia NBR NM 248. Laboratório Laborgeo.

Classificação do material	Abertura (mm)	Malha	Frequência simples (%)	Frequência acumulada retida (%)	Frequência acumulada passante (%)
Cascalho médio	4,750	#4	0,00	0,00	100,00
Cascalho fino	2,000	#10	0,00	0,00	100,00
Areia muito grossa	1,180	#16	0,26	0,26	99,74
Areia grossa	0,600	#30	9,81	10,07	89,93
Areia média	0,300	#50	26,83	36,90	63,10
Areia fina	0,150	#100	29,94	66,84	33,16
Areia muito fina	0,075	#200	20,42	87,29	12,74
Silte grosso	0,053	#270	4,70	91,96	8,04
Silte médio	0,038	#400	3,91	95,87	4,13
Silte fino	0,025	#500	1,30	97,17	2,83
Silte muito fino	0,020	#635	0,26	97,43	2,57
Argila	<0,020	Passante	2,57	100,00	0,00

Tabela 3 - Teores dos óxidos detectados no pó de rocha nefelina sienito. Laboratório Laborgeo.

Elemento / Óxido	Pó de rocha	Elemento / Óxido	Pó de rocha
Na ₂ O	1,53 %	CuO	27,07 ppm
MgO	2,71 %	Ga ₂ O ₃	50,50 ppm
Al ₂ O	18,56 %	Y ₂ O ₃	23,43 ppm
SiO ₂	49,24 %	MoO ₃	33,83 ppm
P ₂ O ₅	0,51 %	Nd ₂ O ₃	58,10 ppm
SO ₃	0,04 %	Yb ₂ O ₃	13,03 ppm
Cl	0,13 %	IrO ₂	6,13 ppm
K ₂ O	7,57 %	Re	0,80 ppm
CaO	3,24 %	Lu ₂ O ₃	17,67 ppm
TiO ₂	1,52 %	Ta ₂ O ₅	9,20 ppm
V ₂ O ₅	0,01 %	PtO ₂	ND
MnO	0,49 %	CeO ₂	ND
Fe ₂ O ₃	12,9 %	ThO ₂	ND
ZnO	0,03 %	As ₂ O ₃	ND
Rb ₂ O	0,01 %	PbO	ND
EuO ₃	0,09 %	U	ND
ZrO ₂	0,03 %	HgO	ND
NiO	0,00 ppm	PF	1,35 %

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com cinco doses do remineralizador, mais uma testemunha absoluta (sem adição do pó de rocha e sem adubação potássica) e uma testemunha positiva (sem pó de rocha e com adubação potássica na forma de KCl), com quatro repetições (Tabela 4). Tal metodologia é recomendada pela Embrapa para experimentos que visem avaliar a eficiência agrônômica de remineralizadores de solo.

As doses do pó de rocha foram calculadas com base no teor de K₂O presente na rocha (7,57%), sendo a menor dose equivalente à dose do tratamento testemunha positiva (200 mg dm⁻³ de K), conforme a recomendação para cultivos experimentais em vasos (RESENDE et al., 2012). Utilizou-se como fonte solúvel de potássio o KCl.

A correção do solo visou elevar a saturação por bases para 80%, conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004), para experimentos discriminatórios e utilizou-se carbonato de cálcio e carbonato de magnésio na relação Ca: Mg 3:1. Além do calcário, a incubação foi conduzida com as respectivas doses do pó de rocha definidas para o experimento. Para a testemunha positiva utilizou-se o KCl como fonte de potássio na dose basal de 200 mg dm⁻³.

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos aplicados.

Tratamento	Descrição	K (mg dm ⁻³)	Corretivo*	KCl	Pó de rocha	Outros**
1	Test. absoluta	0	+	-	-	+
2	Test. positiva	200	+	+	-	+
3	Pó de rocha	200	+	-	+	+
4	Pó de rocha	400	+	-	+	+
5	Pó de rocha	600	+	-	+	+
6	Pó de rocha	800	+	-	+	+
7	Pó de rocha	1000	+	-	+	+

* Corretivo: Calcário.

** Outros: Nitrogênio (N); Fósforo (P), Enxofre (S); Micronutrientes (B, Zn, Mn, Co, Cu e Mo).

Após o período de incubação e antes da implantação das culturas, as doses dos nutrientes fornecidos na adubação básica foram aplicadas segundo recomendações de Novais et al. (1991) e Resende et al. (2012), sendo de 100; 250; 30; 0,5; 2,0; 3,0; 4,0 e 0,25 mg dm⁻³ de N, P, S, B, Cu, Mn, Zn e Mo, respectivamente.

Após o período de incubação, foi realizado o plantio do milho a partir de semeadura, a reposição da água nos vasos foi diária, visando a manutenção da umidade em 70% do volume total de poros. Para irrigação, os vasos foram pesados diariamente e complementados com água deionizada. A colheita do milho ocorreu 60 dias após o plantio. Após a colheita, as plantas foram avaliadas quanto à altura e diâmetro do caule/colmo, matéria fresca da parte aérea e raiz, matéria seca de parte aérea, raiz e total.

Tanto a parte aérea quanto as raízes foram lavadas em solução de HCl a 3%, seguida de lavagem em água corrente e água destilada. Após a lavagem, foram secas em estufa de circulação forçada a 60 °C, até atingirem peso constante para determinação da matéria vegetal seca. O material seco foi acondicionado em embalagem adequada e remetido para análise química do tecido vegetal em laboratório certificado (Campo Análises). Foram determinados os teores dos macros e microelementos nutrientes de plantas e com base nestes e na matéria seca, foram calculados os acúmulos dos elementos nas plantas objeto do estudo.

Para a eficiência agrônômica relativa utilizou-se o parâmetro matéria seca total e para a absorção relativa de K, o acúmulo de potássio na planta. Para ambos os casos, o tratamento com a utilização da fonte solúvel de potássio (KCl) foi considerado como 100%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade e de variância e, quando significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro, analisados pelo teste Tukey (p<0,05) quando se incluía a testemunha positiva e por regressão quando se excluía a testemunha positiva para se avaliar apenas o efeito das doses do remineralizador. As análises foram realizadas com o auxílio do Programa Estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

Resultados e discussão

O pó de rocha utilizado continha 7,57% de K₂O, que após os estudos preliminares de incubação em solo mostrou considerável solubilidade, passando para a solução do solo e consequentemente sendo absorvido pelas plantas. Adicionalmente, constata-se que tem liberação lenta e contribui para efeito residual no solo, como pode ser verificado na Tabela 5.

Tabela 5 - pH e teores de P, K, S, Ca e Mg no Latossolo Amarelo após incubação com calcário e pó de rocha.

Tratamento	pH	Teor				
		----- (mg dm ⁻³) -----			---- cmol _c dm ⁻³ ----	
		P	K	S	Ca	Mg
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	5,22 b	0,97 c	76,59 c	4,19 a	1,98 a	0,79 a
T2: Completo 200K (KCl) + outros	5,39 ab	0,76 c	261,2 0a	4,09 a	1,96 a	0,76 a
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	5,34 ab	2,72 bc	83,73 c	4,70 a	1,96 a	0,75 a
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	5,40 ab	4,24 abc	105,38 c	4,55 a	2,00 a	0,73 a
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	5,44 ab	6,50 ab	146,82 b	5,59 a	2,21 a	0,82 a
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	5,42 ab	7,23 a	151,31 b	5,10 a	2,18 a	0,80 a
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	5,51 a	6,81 ab	155,56 b	5,27 a	2,34 a	0,86 a
DMS		0,24	4,33	39,80	1,89	0,41
CV (%)		1,87	44,4	12,16	16,86	8,38

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

Os níveis de potássio no Latossolo Amarelo após a incubação com calcário e cloreto de potássio (T2) atingiram 261 mg dm⁻³ de K, e após o cultivo do milheto, reduziu para 25,6 mg dm⁻³ de K, representando um resíduo de apenas 9,8%. Como a fonte utilizada é de alta solubilidade, e os vasos não tinham dreno, infere-se que todo potássio adicionado tenha sido solubilizado nos 30 dias de incubação.

Os maiores teores de potássio encontrados no solo após o cultivo do milheto foram nos tratamentos que se utilizou o pó de rocha nas dosagens de 800 e 1000 mg dm⁻³ de K (Tabela 6) e após o cultivo. Esse resultado está de acordo com Aquino (2020), que observou um aumento linear da disponibilidade com o aumento doses e de potássio nos tratamentos com rochas ricas em nefelina sienito. Nestes tratamentos, os teores iniciais de potássio no solo após a incubação foram de 151 e 155 mg dm⁻³ de K, respectivamente, e após o cultivo esses níveis baixaram para 79,5 e 98,4 mg dm⁻³ de K no solo. Ou seja, reduções após a extração das plantas de 53 e 63%, respectivamente. Como os T2, T6 e T7 não diferiram significativamente para a produção de matéria seca total do milheto, estima-se que o pó de rocha continuou se solubilizando e liberando o potássio durante o período do cultivo e que ao final ainda apresentou níveis mais elevados deste elemento.

Tabela 6 - pH e teores de P, K, S, Ca e Mg no Latossolo Amarelo após o cultivo do milheto.

Tratamento	pH	Teor				
		----- (mg dm ⁻³) -----			---- cmol _c dm ⁻³ ----	
		P	K	S	Ca	Mg
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	4,95 ab	37,21 c	20,27 c	20,50 a	1,82 b	0,30 ab
T2: Completo 200K (KCl) + outros	4,82 b	46,44 b	25,60 c	22,59 a	1,93 b	0,46 ab
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	4,95 ab	41,85 bc	27,17 c	15,77 ab	1,83 b	0,33 b
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	5,19 ab	44,19 bc	40,17 c	13,44 b	1,94 b	0,40 b
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	5,11 ab	49,21 ab	64,05 b	11,49 b	2,12 ab	0,49 ab
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	5,23 ab	49,39 ab	79,49 ab	11,10 b	2,01 ab	0,47 ab
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	5,43 a	55,43 a	98,44 a	16,72 ab	2,32 a	0,61 a
DMS		0,51	7,62	20,74	6,99	0,36
CV (%)		4,30	7,05	17,49	18,78	7,62

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

A principal função do potássio na bioquímica é seu efeito na ativação de vários sistemas enzimáticos (CARVALHO et al., 1999). A ação do potássio é pouco conhecida, porém, sabe-se que na folha aumenta a atividade assimiladora e a síntese de carbono, e na sua falta a fotossíntese diminui

e a respiração aumenta, além de ser um elemento móvel que se distribui por toda planta, é catalisador da passagem de aminoácidos a proteínas e diminui a suscetibilidade da planta às doenças.

O pH do solo após o final do período de 60 dias de cultivo foi de 4,82, não apresentando diferença significativa para os demais tratamentos, exceto na maior dose do pó de rocha aplicada ao solo (T7), que atingiu 5,43, muito próximo do pH medido quando se iniciou o plantio, que era de 5,51, demonstrando um certo “poder tampão” do pó de rocha nefelina sienito.

Outro ponto importante a ser observado foi a elevação nos teores de fósforo do Latossolo Amarelo após o cultivo do milho, que para o T5, T6 e T7 foram significativamente superiores aos demais (Tabela 6). Como a dose basal de P foi a mesma para todos os tratamentos, atribui-se ao pó de rocha tal elevação, indicando que, na condição testada, o solo é enriquecido em P advindo da solubilização da nefelina sienito aplicada na forma de pó. Comportamento semelhante ao observado para o P e K, também se observou para o Ca (Tabela 6). Estes resultados confirmam achados da literatura, que relatam potencial de liberação de nutrientes por materiais rochosos (RIBEIRO et al., 2010; LUCHESE et al., 2021).

Os parâmetros altura de plantas e diâmetro do colmo não diferiram significativamente entre os tratamentos, embora a matéria seca total obtida no tratamento cuja fonte de K foi o cloreto de potássio tenha sido maior que o tratamento onde não se aplicou potássio (T1), esta não diferiu significativamente dos T5, T6 e T7, indicando efeito positivo também do pó de rocha sobre o desenvolvimento das plantas do milho cultivadas no Latossolo Amarelo (Tabela 7).

Tabela 7 - Altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), peso fresco da parte aérea (PFPA), peso fresco de raízes (PFRA), peso seco da parte aérea (PSPA), peso seco das raízes (PSRA) e matéria seca total (MST) plantas de milho cultivadas em vasos contendo Latossolo Amarelo e submetidas a tratamentos com pó de rocha.

Tratamento	-cm-	-mm-	------(g)-----				
	ALT	DC	PFPA	PFRA	PSPA	PSRA	MST
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	119,6 a	10,91 a	256 b	59,7 a	42,3 c	13,67 a	56,0 bc
T2: Completo 200K (KCl) + outros	125,1 a	12,63 a	323 ab	49,7 a	51,9 ab	15,47 a	67,4 ac
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	125,2 a	10,70 a	268 b	38,5 a	43,7 bc	12,87 a	56,6 bc
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	130,8 a	11,33 a	297 ab	32,2 a	43,5 bc	10,50 a	54,0 c
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	123,8 a	11,07 a	289 ab	49,7 a	45,8 abc	13,22 a	59,1 abc
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	135,1 a	10,83 a	293 ab	49,7 a	50,2 ab	13,17 a	63,4 ab
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	118,2 a	11,41 a	282 ab	44,7 a	46,1 ac	13,70 a	59,8 ab
DMS	17,7	2,15	51,70	33,01	7,01	7,07	8,77
CV (%)	6,04	8,16	7,70	30,47	6,49	22,86	6,31

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

Além do remineralizador estudado apresentar composição multinutriente, verificou-se relação positiva entre a produção de matéria seca, a absorção de K pelas plantas e a quantidade aplicada do remineralizador. Resende et al. (2012) atestam a dificuldade experimental de isolar os efeitos dos outros nutrientes em fontes complexas como os remineralizadores obtidos de rochas silicáticas. Desta forma, o desenvolvimento das plantas afetado pela produção de matéria seca não pode ser atribuído somente ao efeito decorrente do fornecimento de K, apesar de os indicadores apontarem para o efeito mais pronunciado deste elemento.

Os teores de N e Ca analisados na parte aérea do milho não diferiram significativamente entre os tratamentos, independentemente da dose, presença ou ausência e da fonte de K utilizada (Tabela 8). Para o P, Mg e S, apesar de se observar diferenças significativas, estas não foram tão pronunciadas, embora tenha ficado claro o efeito de concentração pela análise dos dados dos teores de P, assim com demonstrado em estudo semelhante por Aquino (2020). Na parte aérea da planta, o

efeito mais pronunciado e significativo coube aos teores de K, que foram baixos ($9,71 \text{ g kg}^{-1}$) no tratamento em que não se aplicou potássio, passando para $28,91 \text{ g kg}^{-1}$ onde se aplicou a dose de 200 mg dm^{-3} de K na forma de KCl, representando uma concentração 198% maior. Entretanto, estatisticamente a concentração encontrada no T2 foi igual às detectadas nos T5, T6 e T7, revelando o potencial do pó de rocha em liberar potássio para a absorção das plantas.

Tabela 8 - Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de plantas de milho cultivadas em vasos contendo Latossolo Amarelo e submetidas a tratamentos com pó de rocha.

Tratamento	Teor -----(g kg^{-1})-----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	21,45 a	9,31 a	9,71 c	7,32 a	9,68 a	3,64 ab
T2: Completo 200K (KCl) + outros	16,45 a	6,44 ab	28,91 a	5,91 a	5,31 cd	2,11 b
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	18,16 a	8,16 ab	13,97 c	7,10 a	8,40 ab	4,14 a
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	25,26 a	6,52 ab	20,85 b	7,29 a	7,63 abc	4,44 a
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	22,49 a	6,62 ab	25,03 ab	6,17 a	6,22 bcd	4,43 a
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	18,95 a	6,59 ab	24,89 ab	6,84 a	5,70 cd	3,82 a
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	17,89 a	5,38 b	28,44 a	5,86 a	4,76 d	4,54 a
DMS	12,99	3,14	6,48	4,19	2,49	1,54
CV (%)	27,68	19,21	12,79	26,99	15,62	16,99

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

Os teores dos micronutrientes na parte aérea do milho cultivado no Latossolo Amarelo variaram pouco (Zn e Mn) ou não foram significativamente diferentes (B, Fe e Cu), conforme pode ser verificado na Tabela 9. Importante destacar que o coeficiente de variação para os teores de Fe foi de aproximadamente 38%.

Tabela 9 - Teores de B, Zn, Fe, Mn e Cu na parte aérea de plantas de milho cultivadas em vasos contendo Latossolo Amarelo e submetidas a tratamentos com pó de rocha.

Tratamento	Teor -----(mg kg^{-1})-----				
	B	Zn	Fe	Mn	Cu
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	7,25 a	68,50 ab	470,25 a	187,25 ab	8,31 a
T2: Completo 200K (KCl) + outros	9,50 a	61,00 b	440,25 a	212,00 a	7,19 a
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	11,00 a	68,50 ab	358,75 a	179,25 ab	9,31 a
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	8,87 a	83,25 a	485,50 a	215,50 a	10,24 a
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	10,12 a	62,50 ab	327,00 a	152,75 ab	8,26 a
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	8,87 a	63,50 ab	373,32 a	133,75 ab	7,11 a
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	11,87 a	47,25 b	213,00 a	103,75 b	6,34 a
DMS	6,01	21,93	322,75	90,40	4,37
CV (%)	26,68	14,45	37,63	22,86	23,05

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

As raízes das plantas absorvem os nutrientes que estão na solução do solo, sendo que maior disponibilidade de nutrientes deve promover maior absorção, uma vez que as plantas não têm um mecanismo para selecionar o que entra em contato com a superfície radicular, com consequente entrada na planta pelo processo de absorção.

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados dos teores dos macronutrientes nas raízes do milho, sendo que para N, P e Mg as doses e fontes de K aplicadas não influenciaram nos seus teores. Doses mais elevadas do pó de rocha promoveram aumentos significativos nos teores de Ca e S. Já para os teores de K, a dose aplicada via cloreto de potássio só diferiu significativamente do tratamento

em que não se aplicou potássio para o cultivo do milho. Esse resultado é indicativo de que, independentemente da dose do pó de rocha, o processo de liberação lento do K da sua estrutura proporciona contato contínuo das raízes com o potássio que está sendo liberado, embora em doses mais elevadas ($600 \text{ mg de K dm}^{-3}$, ou superiores), o efeito é mais pronunciado, refletindo em maiores teores de K nas raízes do milho (Tabela 10).

Tabela 10 - Teores de N, P, K, Ca, Mg E S nas raízes de plantas de milho cultivadas em vasos contendo Latossolo Amarelo e submetidas a tratamentos com pó de rocha.

Tratamento	Teor ----- (g kg ⁻¹) -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	5,13 a	1,26 a	1,82 d	1,06 d	1,39 a	1,56 c
T2: Completo 200K (KCl) + outros	6,45 a	1,36 a	6,47 abc	1,43 d	2,14 a	1,76 bc
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	8,02 a	1,41 a	3,30 cd	1,53 cd	1,59 a	1,93 abc
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	5,26 a	1,42 a	5,07 bcd	1,54 cd	1,96 a	2,50 abc
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	9,21 a	1,60 a	7,81 ab	2,32 bc	1,57 a	2,43 abc
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	8,29 a	1,84 a	9,17 a	3,69 ab	2,02 a	2,75 ab
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	8,29 a	1,84 a	10,01 a	2,89 a	1,97 a	2,91 a
DMS	7,66	0,58	3,57	0,87	0,92	1,07
CV (%)	45,31	16,67	24,52	18,09	21,87	20,26

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

As doses e fontes de K aplicadas no Latossolo Amarelo para o cultivo do milho não influenciaram significativamente, ou influenciaram muito pouco na concentração dos micronutrientes nas raízes das plantas, por consequente, mesmo comportamento foi verificado para o acúmulo dos micronutrientes nas plantas.

Os resultados obtidos para acúmulo dos macronutrientes (g vaso⁻¹) nas plantas do milho estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg E S em plantas de milho cultivadas em vasos contendo Latossolo Amarelo e submetidas a tratamentos com pó de rocha.

Tratamento	Acúmulo ----- (g vaso ⁻¹) -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	1,40 a	0,53 a	0,47 d	0,45 a	0,63 a	0,21 b
T2: Completo 200K (KCl) + outros	1,21 a	0,42 abc	1,88 a	0,43 a	0,40 bc	0,15 ab
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	1,08 a	0,45 ab	0,74 d	0,42 a	0,53 ab	0,24 a
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	1,35 a	0,35 bc	1,07 c	0,38 a	0,44 bc	0,24 a
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	1,32 a	0,36 bc	1,39 bc	0,36 a	0,40 c	0,26 a
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	1,09 a	0,39 abc	1,49 b	0,40 a	0,37 c	0,24 a
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	1,17 a	0,30 c	1,62 ab	0,34 a	0,32 c	0,24 a
DMS	0,78	0,14	0,31	0,22	0,13	0,07
CV (%)	27,08	14,86	10,78	23,23	12,20	12,49

Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não diferem entre si, teste Tukey a 5% probabilidade.

Mais uma vez, o destaque recai sobre o acúmulo de potássio, em que o tratamento testemunha positiva (T2), que teve o fornecimento de 200 mg dm^{-3} de K, aplicados na forma de KCl, apresentou maior acúmulo de K; entretanto, não diferindo significativamente do acúmulo obtido no tratamento em que se aplicou 1000 mg dm^{-3} de K via do pó de rocha. Aparentemente, há uma grande diferença entre as doses, mas é importante destacar que após o cultivo do milho os teores residuais de K no solo foram bem superiores no T7 do que no T3 (Tabela 6). Ainda, em todos os tratamentos com a

aplicação do pó de rocha os valores determinados para o acúmulo de potássio foram significativamente superiores do que aqueles onde este não foi aplicado.

O pó de rocha nefelina sienito se solubiliza no solo Latossolo Amarelo, fornece potássio para a absorção das plantas de milho e promove o crescimento destas.

Os níveis naturais de potássio no Latossolo Amarelo foram suficientes para promover produção de matéria seca do milho na casa de 83% daquela obtida no tratamento com a utilização de fonte solúvel de potássio e quando se aplicou o pó de rocha, a eficiência relativa chegou a 94% no tratamento com a dose de 800 mg dm⁻³ de K aplicado via pó de rocha (Tabela 12).

Tabela 12 - Eficiência agrônômica e relativa (%) do pó de rocha frente à fonte solúvel de K (T2), obtida em plantas de milho cultivadas em vasos com Latossolo Amarelo.

Tratamento	Eficiência na absorção de K (%)	Eficiência agrônômica (%)
T1: Testemunha (-K + calagem + outros)	(25)	(83)
T2: Completo 200K (KCl) + outros	100	100
T3: Pó de rocha 200K + calagem + outros	39	84
T4: Pó de rocha 400K + calagem + outros	57	80
T5: Pó de rocha 600K + calagem + outros	74	88
T6: Pó de rocha 800K + calagem + outros	79	94
T7: Pó de rocha 1000K + calagem + outros	86	89

A absorção de potássio é maior, mas doses mais elevadas do pó de rocha, entretanto, não reflete em grandes aumentos na produção de matéria seca. Por exemplo, no T6 para se produzir 94% da matéria seca comparada ao T2, foram necessários 79% do K utilizado no mesmo tratamento.

Fica evidente pela análise de todos os dados apresentados que o pó de rocha nefelina sienito é eficiente em fornecer nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho, mas fica mais evidente ainda, o seu potencial residual, o que promoverá economia de fertilizantes para o cultivo de ciclo futuros.

Tal comportamento fica mais evidente em relação ao potássio, pois o uso do pó de rocha nefelina sienito é uma estratégia eficaz para fornecer potássio de forma gradual ao solo.

Conclusão

O pó de rocha nefelina sienito possui caracterização química e desempenho agrônômico adequados para seu enquadramento como remineralizador de solo. A solubilização lenta e o efeito residual no solo do pó de rocha nefelina sienito, sobretudo em relação ao potássio, o torna alternativa viável para ser utilizado como fonte alternativa de fertilizante agrícola.

Conflitos de interesse

Não houve conflito de interesses dos autores.

Contribuição dos autores

João Paulo Santos Medeiros, Ellen Francine Barbosa Neves, Alayane Marçal Reis, Denilson Silva Sousa, Kamila Araujo de Sousa Nascimento - curadoria de dados, investigação e metodologia; Dilaine Suellen Caires Neves - curadoria de dados, investigação, metodologia, redação, preparação

do rascunho original; Vanêssa Brito Fernandes Neves - conceitualização, metodologia, redação, revisão e edição; Orlando Silvio Caires Neves - conceitualização, metodologia, redação, revisão, edição, obtenção de financiamento e administração do projeto.

Referências bibliográficas

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 13p. <https://abnt.org.br/>
- ALMEIDA, J. A.; CUNHA, G. O. M.; HEBERLE, D. A.; MAFRA, Á. L. Potential of olivine melilitite as a soil remineralizer according to particle size and rates. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e01445, p. 1-15, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01445>
- AQUINO, J. M.; TANIUCHI, C. A. K.; MAGINI, C.; BERNI, G. V. The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, 102800, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102800>
- CARVALHO, O. S.; SILVA, O. R. R. F.; MEDEIROS, J. C. Adubação e calagem. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Eds.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, v. 1, p. 175-210, 1999.
- CHRISTMANN, P. Towards a more equitable use of mineral resources. **Natural Resources Research**, v. 27, n. 2, p. 159-177, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9343-6>
- D'OLIVEIRA, P. D.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. **Uso de pó de rocha em plantas forrageiras**. Comunicado Técnico, 96. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2023, 16p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1157266>
- FERREIRA, D. F. SISVAR: Um sistema de análise computacional para desenhos do tipo split plot com efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- FRANÇA, S. C. A.; TRAMPUS, B. C.; BRAGA, P. F. A.; MOKARZEL, D. Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 28., 2019. **Anais...** Belo Horizonte – MG: ENTMME, 2019. <https://publicacoes.entmme.org/filebase/2019/PDF>
- FREIRE, Y. B. D.; FONSECA, I. S.; SANTOS, R. A.; VALICHESKI, R. R.; OLIVEIRA, S. S. C.; STÜRMER, S. L. K. Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio no cultivo da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 4, p. 1-19, 2023. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n4e11565>
- LUCHESI, A. V.; PIVETTA, L. A.; BATISTA, M. A.; STEINER, F.; GIARETTA, A. D. S.; CURTIS, J. C. D. Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 17, n. 3, p. 487-497, 2021. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15234>
- MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050? **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 126, n. 1, p. 14-17, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2014.12.005>
- MANNING, D. A. C.; THEODORO, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. **The Extractive Industries and Society**, v. 7, n. 2, p. 480-487, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>
- MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013 (alterada pela IN nº 6, de 10 de março de 2016 e pela IN nº 5, de 3 de janeiro de 2020)**. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-3-de-15-01-2020.pdf>

- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coords.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: Embrapa-SEA, cap. 2, p.189-255, 1991. (Documentos, 3).
- PEREIRA, L. F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; SANTOS, N. Z.; SOARES, G. F.; CASARI, R. A. C. N.; MULLER, O.; TAVARES, C. J.; MARTINS, É. S.; RASCHER, U.; GUIMARÃES, C. A. L.; PEREIRA, A. F.; MERTZ-HENNING, L. M.; SOUSA, C. A. F. Physiological changes in soybean cultivated with soil remineralizer in the Cerrado under variable water regimes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e01455, p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.26940>
- RABEL, D. O.; MOTTA, A. C. V.; BARBOSA, J. Z.; MELO, V. F.; PRIOR, S. A. Depth distribution of exchangeable aluminum in acid soils: a study from subtropical Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, e39320, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39320>
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MARTINS, E. S.; HURTADO, S. M. C.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C. **Protocolo de avaliação agronômica de rochas e produtos derivados como fontes de nutrientes às plantas ou condicionadores de solo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012, 30p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/939641>
- RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; SOUZA, L. F. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 891-897, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>
- SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F.; SILVA, A. J. N.; STAMFORD, N. P.; MACEDO, G. R. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources**, v. 51, n. 3, p. 142-147, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.01.001>
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2ª edição. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 81-96, 2004. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>
- ZHANG, G.; KANG, J.; WANG, T.; ZHU, C. Review and outlook for agromineral research in agriculture and climate mitigation. **Soil Research**, v. 56, n. 2, p. 113-122, 2018. <https://doi.org/10.1071/SR17157>

Recebido em 14 de janeiro de 2026

Retornado para ajustes em 11 de fevereiro de 2026

Recebido com ajustes em 24 de fevereiro de 2026

Aceito em 2 de março de 2026