



## Cargas elétricas e liberação de nutrientes em um Latossolo sob adição de sienito nefelínico finamente moído

**Luiz F. dos Santos<sup>(1)</sup>; Lucas M. S. Rodrigues<sup>(2)</sup>; Lucas L. Machado<sup>(2)</sup>; Alan R. Mól<sup>(3)</sup>; Éder de S. Martins<sup>(4)</sup>; Fernando F. Sodrê<sup>(5)</sup>; Jader G. Busato<sup>(6)</sup>**

<sup>(1)</sup> Mestrando em Química – Universidade de Brasília; Brasília-DF (nandosantos.fsa@gmail.com)

<sup>(2)</sup> Graduando em Agronomia – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária; Universidade de Brasília; Brasília-DF

<sup>(3)</sup> Químico – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária; Universidade de Brasília; Brasília-DF

<sup>(4)</sup> Pesquisador – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Cerrados CPAC-Embrapa Brasília –DF

<sup>(5)</sup> Professor – Instituto de Química; Universidade de Brasília; Brasília-DF

<sup>(6)</sup> Professor – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária; Universidade de Brasília; Brasília-DF

**RESUMO:** Apesar de sua liderança internacional em diversos segmentos da agroindústria, o Brasil é extremamente dependente das importações de fertilizantes para suprir sua demanda interna. Na tentativa de reduzir esta dependência, diversos materiais têm sido estudados como fontes alternativas de nutrientes, com especial atenção ao uso de minerais finamente moídos (remineralizadores). Além da oferta de nutrientes, é possível que a adição desses materiais altere também a quantidade de cargas elétricas em solos altamente intemperizados, favorecendo a troca reversível de cátions. O objetivo desse trabalho foi determinar a liberação de nutrientes e possíveis alterações na quantidade de cargas elétricas permanentes e variáveis em um Latossolo sob adição de diferentes doses de sienito nefelínico finamente moído. Os principais resultados apresentados são o aumento da densidade de cargas permanentes de 5,60 para 14,94 mmol kg<sup>-1</sup> no tratamento com adição de dose equivalente a 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e o aumento linear no teor de K<sup>+</sup> trocável.

**Termos de indexação:** solubilidade, remineralizadores, teor de K<sup>+</sup> trocável.

### INTRODUÇÃO

O uso de fertilizantes solúveis mudou a forma de produção de alimentos no mundo. Os fertilizantes tradicionais obtidos principalmente a partir de fontes orgânicas foram substituídos por outros de origem mineral ou industrial. Em geral, como características importantes, esses fertilizantes apresentam elevada solubilidade e concentração de nutrientes. No Brasil, existe uma grande dependência externa por esses produtos, tendo o volume importado alcançado aproximadamente 24 milhões de Mg de fertilizantes somente no ano de 2014 (ANDA, 2014). Apesar de possibilitar aumentos reais na produção das lavouras, o uso excessivo desses produtos onera a agricultura e possibilita a poluição de águas subterrâneas (Vinod

et al., 2015). Além disso, especialmente para agricultores orgânicos, a legislação impede o uso desse tipo de insumo, fazendo necessária a avaliação de outras fontes de nutrientes vegetais. Nesse cenário, a utilização de insumos menos solúveis originados no Brasil e que apresentem liberação gradual de nutrientes torna-se importante. O uso de pós-de-rocha, ou remineralizadores, termo existente na Lei nº 12890/2013, vem então ganhando espaço, mas a eficiência agrícola desses materiais precisa ser avaliada cuidadosamente antes de sua indicação agrônoma.

Além de fornecer nutrientes, é possível que os remineralizadores incrementem a quantidades de cargas elétricas existentes em solos intemperizados devido à presença de diferentes tipos de minerais no material. Anderson e Sposito (1991) desenvolveram um método analítico para determinar o teor de cargas em solos baseado na seletividade de adsorção de Cs<sup>+</sup>, possibilitando a determinação simultânea das cargas elétricas variáveis e permanentes. Apesar de ainda pouco empregado no Brasil, este método pode favorecer a compreensão e quantificação de cargas geradas a partir do uso de remineralizadores.

O presente trabalho tem como objetivos: a) quantificar a liberação de nutrientes num Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVA) sob adição de diferentes doses de sienito nefelínico finamente moído (remineralizador); b) determinar se a adição do sienito altera o quantitativo de cargas elétricas variáveis e permanentes no Latossolo em estudo.

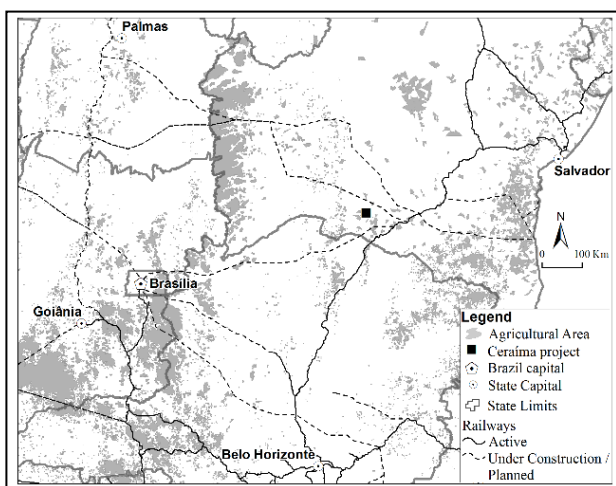
### MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Embrapa, 2013) localizado no alto da Chapada de Sobradinho, entre os paralelos 15°36'25,80"S e 15°36'28,14"S e os meridianos; 47°44'49,63"O e 47°44'47,76"O. Foram obtidas aproximadamente 2 Mg do solo coletadas em um quadrante 2,0 x 2,0 m, tendo sido removida a camada superficial, empregando-se no experimento



apenas a camada subsuperficial (0,4 e 0,6 m de profundidade). Após coletado, o solo foi passado em peneira com abertura de malha de 2,0 mm, quarteado manualmente e acondicionado em sacos plásticos até montagem do experimento em casa-de-vegetação. O solo apresentou  $668 \pm 2 \text{ g kg}^{-1}$  de argila;  $39,5 \pm 0,6$  de areia e  $292 \pm 1 \text{ g kg}^{-1}$  de silte.

O material mineral empregado no experimento como remineralizador foi o classificado como sienito nefelínico e seus depósitos encontram-se no município de Ganambi, cerca de 675 quilômetros a Oeste de Salvador, Bahia (Figura 1). Para análise química do material, amostras contendo 0,05 g passaram por fusão alcalina onde os elementos  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  nas soluções de ataque foram determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (Janasi et al., 1995). Os elementos  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  foram quantificados por espectrofotometria de Chama em Absorção Atômica (AAS) e o  $\text{P}_2\text{O}_5$  em utilizando-se espectrofotometria UV-Vis, monitorando-se a absorção em 660 nm após formação do complexo fósforo-molibdênio na presença de ácido ascórbico como redutor. Foi calculado também o poder relativo de neutralização total da rocha (PRNT), conforme Embrapa (2009).



**Figura 1** – Localização geográfica da rocha sienito nefelínico empregada como remineralizador de solo, após moagem fina.

### Tratamentos e amostragens

Após a coleta, amostras do solo receberam doses diferentes do remineralizador, tendo como base o teor total de  $\text{K}_2\text{O}$  determinado na rocha (Tabela 2). As doses equivalentes aplicadas às amostras de solos foram: 0, 75, 150, 225 e 300  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  (0, 0,6; 1,2; 1,8 e 2,40  $\text{Mg ha}^{-1}$  do remineralizador). O material foi acondicionado em

vasos de polietileno com capacidade para  $14 \text{ dm}^{-3}$  onde permaneceu incubado por 60 dias, com irrigações diárias para manter a capacidade de campo em torno de 70%. Para cada dose de rocha, houve 12 repetições distribuídas em delineamento experimental totalmente casualizado, totalizando 60 observações.

Após coleta, foram determinados os teores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^++\text{Al}^{3+}$ , carbono orgânico e pH de acordo com Embrapa (2009). Para determinação das cargas variáveis e permanentes, foram utilizadas amostras sem adição do remineralizador e com adição da dose equivalente a  $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ . Para isto, 3 g de solo receberam 20 mL de  $\text{CsCl}$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo o material agitado por 30 min. Após centrifugação 8000 rpm por 30 min, o sobrenadante foi descartado e o procedimento repetido outras 15 vezes. O material foi então lavado com 20 mL de  $\text{EtOH}$  95% e seco em estufa de circulação de ar ( $65^\circ\text{C}$ , 48 h). O deslocamento do  $\text{Cs}^+$  adsorvido pelas cargas do solo foi realizado primeiramente com  $\text{LiCl}$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , para a determinação das cargas variáveis, e posteriormente com  $\text{NH}_4\text{OAc}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , para a determinação das cargas permanentes (Anderson e Sposito, 1991). Os teores de  $\text{Cs}^+$  dos extratos de  $\text{LiCl}$  e  $\text{NH}_4\text{OAc}$  foram determinados por espectrometria de emissão atômica em plasma induzido por micro-ondas em 697 nm.

### Análise estatística.

Os dados obtidos para a análise de solo e das cargas elétricas foram submetidos a análise de variância com posterior comparação dos valores médios através do teste Tukey ( $p < 0,05$ ) usando o software estatístico Sisvar. Modelos de regressão para as variáveis  $\text{P-PO}_4^{3-}$  e  $\text{K}^+$  foram também ajustados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química do remineralizador empregado no experimento apresentado é mostrada na Tabela 1. O teor médio de  $\text{K}_2\text{O}$  foi de  $125,0 \text{ mg g}^{-1}$ , sendo possível a sua classificação como proveniente de rocha ultrapotássica (Foley et al., 1987). Os teores de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  foram de 33,8 e  $18,7 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente, abaixo dos valores mínimos exigidos pela Instrução Normativa do Ministério da Agricultura (2004) para uso como corretivo de acidez do solo. Como resultado, a adição do remineralizador apresentou baixo poder relativo de neutralização total (PRNT) (Tabela 1).



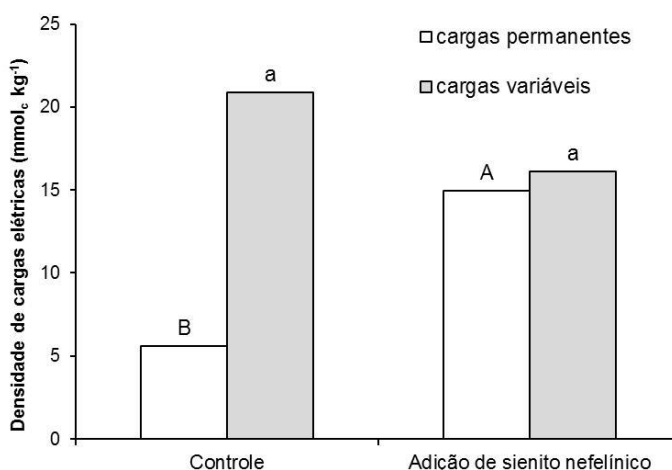
**Tabela 1** – Composição química total dos elementos maiores existentes no pó de sienito nefelínico (Valor médio referente a três repetições seguido do desvio padrão).

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	BaO	PRNT
											mg g <sup>-1</sup>
539±12	179±3	70±1	34±1	19±1	7,6	6,7	125,0±0,3	1,8±0,4	0,6±0,1	6	20,75
											%

No tratamento sem adição do remineralizador, houve predominância das cargas variáveis em relação às permanentes. O valor de 5,6 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> encontrado para carga permanente é próximo a outros trabalhos que utilizaram o mesmo método para solos tropicais. Busato et al. (2012) encontraram um valor de 5,0 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de carga permanente para Latossolo eutroférico em profundidade de 0-0,2 m e Weber et al. (2005) determinaram 5,8 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> em um Latossolo Amarelo Ácrico, à mesma profundidade. No presente trabalho, foi observado que a adição do remineralizador não alterou o quantitativo de cargas variáveis (Figura 2).

O valor de 20,9 e 16,1 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de carga variável encontrado para os tratamentos sem e com adição do pó de sienito, respectivamente, está próximo aos 20,3 observado por Anderson e Sposito (1991) e também aos valores de 25,3 e 23,4 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> determinados por Cunha et al. (2014) em Latossolos da Zona da Mata e Agreste pernambucano, respectivamente. As cargas permanentes sofreram aumento significativo, na ordem de 167%, com adição do remineralizador. Devido a moagem da rocha, os minerais presentes em sua constituição podem ter sofrido deformação física, aumentando a sua área superficial específica. O maior contato entre as superfícies minerais e a solução do solo provavelmente favoreceu as reações de dissolução ácida e, concomitantemente, liberação de íons da estrutura mineral, caracterizando o intemperismo químico com a formação de minerais secundários que possuem cargas permanentes (Anderson e Sposito, 1991).

Os resultados da caracterização química para fins de fertilidade do solo sob adição das diferentes doses do remineralizador são apresentados na Tabela 2. Somente os teores de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e K<sup>+</sup> foram significativamente alterados. A ausência de significância para Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> pode ser explicada pela baixa concentração desses elementos na rocha, não sendo suficiente para alterar o índice desses nutrientes no solo. O P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> apresentou comportamento quadrático e o K<sup>+</sup> comportamento linear (Figura 3).



**Figura 2** – Cargas elétricas variáveis e permanentes em um Latossolo sob adição de sienito nefelínico. Letras maiúsculas comparam as cargas variáveis nos tratamentos controle (sem adição) e na dose equivalente a 300 K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. As minúsculas fazem a comparação das cargas permanentes (Teste Tukey, *p*<0,05).

Baseado nas equações de regressão encontradas (Figura 3) pode-se estipular que cada 100 Mg do remineralizador adicionado ao solo resultou num incremento de 3,71 e 41,94 mg kg<sup>-1</sup> de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e K<sup>+</sup>, respectivamente.

### CONCLUSÕES

- 1) A adição do remineralizador alterou de forma significativa os teores de K<sup>+</sup> e P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> no solo;
- 2) Para os teores de K<sup>+</sup>, houve aumento linear enquanto para o P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> observou-se resposta quadrática à aplicação do remineralizador;
- 3) Houve aumento significativo da densidade de cargas permanentes nos tratamentos com adição do remineralizador.

### AGRADECIMENTOS

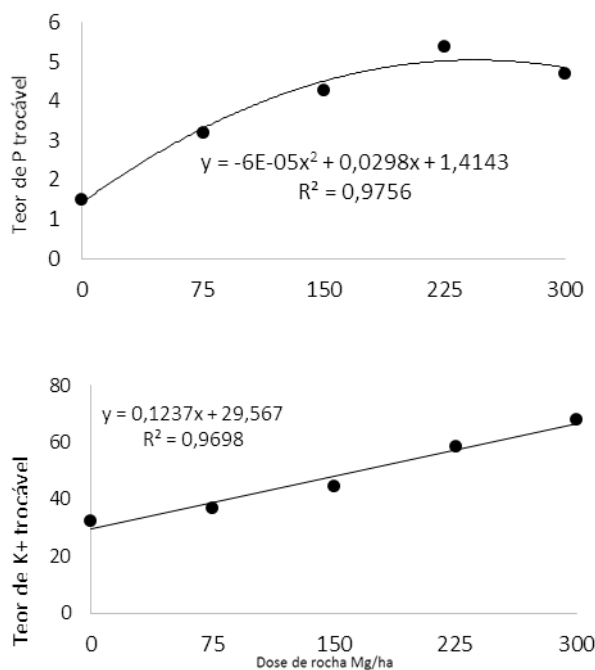
Ao CNPq pela bolsa de mestrado. E aos laboratórios de Química do Solo da FAV-UnB e de Automação, Quimiometria e Química Ambiental do IQ-UnB



**Tabela 2** - Caracterização química dos tratamentos

Dose	Corg	K <sup>+</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	pH	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>
kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O	mg g <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0	17,0±0,8	32,3±1,4a	1,5±0,1a	5,5	0,08	0,9±0,1	2,6±0,3	0,1±0,01
75	18,3±1,6	37,1±2,8a	3,2±0,8b	5,8	0,10	0,7±0,1	2,6±0,1	0,1±0,03
150	17,6±1,3	44,5±1,9b	4,3±0,9bc	5,6	0,11	0,8±0,1	2,4±0,1	0,1±0,01
225	17,2±0,9	58,6±0,2c	5,4±0,6c	5,3	0,15	0,9±0,1	2,4±0,2	0,1±0,01
300	17,1±0,9	67,9±1,7d	4,7±0,5bc	5,5	0,17	0,9±0,2	2,4±0,1	0,1±0

\*Letras diferentes na mesma coluna representam médias diferentes a significância  $p < 0,05$  pelo teste Tukey



**Figura 3** - Correlação em modelos de regressão entre as diferentes dosagens de rocha com os valores médios de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e K<sup>+</sup> em mg kg<sup>-1</sup> encontrados nos respectivos tratamentos após 60 dias de encubação.

### REFERÊNCIAS

ANDA. Principais indicadores do Setor de Fertilizantes. Disponível em: <[http://www.anda.org.br/estatistica/Principais\\_Indicadores\\_s\\_2014.pdf](http://www.anda.org.br/estatistica/Principais_Indicadores_s_2014.pdf)>. 2014. Acesso em 03 de Abril de 2015.

ANDERSON, S. J., SPOSITO, G. Cesium adsorption methods for measuring accessible structural surface charge. Soil Science Society of American Journal, 55: 1569-1576, 1991.

BRASIL. Lei nº 12890 Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. 2013.

BRASIL. Instrução Normativa SARC, Ministério da Agricultura, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, 2 de agosto de 2004. Seção nº4.

BUSATO, J.G.; LEÃO, T.P.; BALDOTTO, M.A.; CANELLAS, L.P. Organic matter quality and dynamics in tropical soils amended with sugar industry residue. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1179-1188, 2012.

CUNHA, J.C.; RUIZ, H.A.; FREIRE, M.B.G.; ALVAREZ, V.H.; FERNANDEZ, R.B. Quantification of permanent and variable charges in reference soils of the state of Pernambuco, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:1162-1169, 2014

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes. 2ed. EMBRAPA Informação Tecnológica, Brasília. 2009. 321p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ªed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos. 353p. 2013

FOLEY, S. F.; VENTURELLI, G.; GREEN, D. H.; TOSCANI, L. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. Earth Science Reviews, 24: 81-134, 1987.

JANASI, V.A.; ANDRADE, S.; ULBRICH, H.H.G.; A correção do *drift* instrumental em ICP-AES com espectrofotômetro sequencial e a análise de elementos maiores, menores e traços em rocha. Departamento de mineralogia e petrologia, IG-USP, Sér-Ciente, 26: 45-48, 1995.

VINOD, P.N.; CHANDRAMOULI, P.; KOCH, M. Estimation of nitrate leaching in Groundwater in agriculturally used area in the State Karnataka, India, Using existing Model and GIS. Aquatic Procedia, v. 4, p. 1047-1053, 2015.

WEBER, O.L.S.; CHITOLINA, J.C.; CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Cargas elétricas estruturais e variáveis de Solos tropicais altamente intemperizados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29 p.867-873, 2005.

