Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.07,2024
ISSN 2178-6925

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA POR MEIO DO USO DE REMINERALIZADOR EM SOLOS DO TOCANTINS

CHEMICAL CHARACTERIZATION THROUGH THE USE OF REMINERALIZER IN TOCANTINS SOILS

Cibelle Christine Brito Ferreira
Doutora, Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: cibelle.christine@hotmail.com

Clauber Rosanova
Professor Doutor, Instituto Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: clauber@ifto.edu.br

Juliano Magalhães Barbosa
Professor Doutor, Instituto Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: juliano.barbosa@ifto.edu.br

Saulo de Oliveira Lima
Professor Doutor, Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: saulolima@mail.uft.edu.br

Resumo

O remineralizador é um resíduo oriundo da moagem de rocha que contém nutrientes para as plantas e compostos que atuam como melhoradores da fertilidade do solo. A aplicação de rocha moída é uma técnica utilizada na fertilização do solo, que pode ser uma alternativa complementar aos fertilizantes industrializados. Partindo dessa hipótese, o objetivo deste estudo foi avaliar os teores nutricionais em amostras de Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Pétrico e Plintossolo Háplico na condição de várzea, fertilizadas com remineralizador. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial duplo (3x5), constituído por três tipos de solo (Neossolo Quartzarênico Órtico típico, Plintossolo Pétrico

ISSN 2178-6925

Concrecionário argissólico e Plintossolo Háplico Distrófico típico em condições de várzea), e cinco doses de rocha extraída e moída em Peixe - TO (0, 1, 2, 3 e 4 t ha^{-1} de remineralizador), com quatro repetições. As unidades experimentais foram submetidas a 60 dias de incubação, seguindo a metodologia de Machado, (2017). Foram avaliados os teores de Ca, P, K, Mg, H+Al, e Al e os valores pH, CTC, SB e CE no solo. Verificou-se associação positiva entre SB, Ca, Al, CE, Mg, CTC e pH para o solo de várzea, com melhores contribuições com a aplicação da dose de 3 toneladas por hectare de remineralizador. Resultados demonstram ainda, que, solos com maiores teores de K e P possuem menor teor de H+Al, e vice-versa. O Plintossolo Pétrico com a aplicação da dose de 1 tonelada de remineralizador por hectare obteve os maiores valores de K e P. Em contraste, menores valores desses nutrientes foram observados no Neossolo Quartzarênico, que se obteve maiores teores de H+Al. Os resultados obtidos confirmam a prática de rochagem como alternativa para a reposição de nutrientes de forma complementar, para manutenção da fertilidade de solos frágeis.

Palavras-chave: Incubação; Neossolo Quartzarênico; Plintossolo Pétrico; resíduo de rocha; solo de várzea.

Abstract

Remineralizer is a residue from rock grinding that contains nutrients for plants and compounds that act as soil fertility improvers. The application of ground rock is a technique used in soil fertilization, which can be a complementary alternative to industrialized fertilizers. Based on this hypothesis, the objective of this study was to evaluate the nutritional contents in samples of Quartzarenic Neosol, Pétrico Plintosol and Haplic Plintosol in floodplain conditions, fertilized with a remineralizer. The experimental design used was completely randomized (DIC), in a double factorial scheme (3x5), consisting of three types of soil (typical Ortic Quartzarene Neosol, argisolic Concretionary Pétrico Plintosol and typical Dystrophic Haplic Plintosol in floodplain conditions), and five doses of rock extracted and ground in Peixe - TO (0, 1, 2, 3 and 4 t ha-1 of remineralizer), with four replications. The experimental units were subjected to 60 days of incubation, following the methodology of Machado, (2017). The levels of Ca, P, K, Mg, H+Al, and Al and the pH, CTC, SB and EC values in the soil were evaluated. A positive association was found between SB, Ca, Al, EC, Mg, CTC and pH for the floodplain soil, with better contributions with the application of a dose of 3 tons per hectare of remineralizer. Results also demonstrate that soils with higher K and P contents have lower H+Al content, and vice versa. The Pétrico Plintosol, with the application of a dose of 1 ton of remineralizer per hectare, obtained the highest values of K and P. In contrast, lower values of these nutrients were observed in the Quartzarenic Neossolo, which obtained higher levels of H+Al. The results obtained confirm the practice of rocking as an alternative for replacing nutrients in a complementary way, to maintain the fertility of fragile soils.

Keywords: Incubation; Quartzarenic Neosol; Pétrico Plintosol; rock residue; floodplain soil.

ISSN 2178-6925

1. Introdução

Quanto mais intemperizado o solo, maior tende a ser sua capacidade de fixação de P e K, o que justifica a necessidade de doses elevadas destes nutrientes nos solos altamente intemperizados do Brasil, principalmente na região do cerrado que, para conseguir um bom desempenho no campo, necessita de elevado investimento em fertilizantes e corretivos (GUTIERREZ *et al.*, 2011).

Devido às características climáticas, material de origem e ao alto intemperismo, os solos do cerrado, são intensamente lixiviados e com baixa fertilidade natural (WATANABE et al., 2005). Os principais solos de ocorrência no Tocantins são das classes Plintossolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos (IBGE, 2013).

Os Plintossolos e Neossolos são considerados solos frágeis por apresentarem composição química que demanda por melhorias para a construção da fertilidade. Os solos de várzeas, por sua vez, se caracterizam por apresentarem solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, facilmente irrigáveis por gravidade, na maioria dos casos, e inundados temporariamente ou não (margens de córregos, rios, vales úmidos), porém, apresentando, muitas vezes, umidade excessiva, necessitando de drenagem adequada (EMBRAPA, 2015).

Cunha e Neto (2015) mostram que, a maior parte do nitrogênio, do fósforo e do potássio, usados na agricultura brasileira, são importados, destacando a dependência por potássio. Uma das alternativas, para contornar esta situação, é buscar fontes alternativas de nutrientes, para uso na agricultura brasileira.

Uma alternativa de complementação visando a redução dos fertilizantes industrializados, pensando também na redução de custos, é a rochagem, sendo uma técnica de fertilização do solo fundamentada na aplicação de remineralizador oriundas de rochas ou minerais ricos em nutrientes necessários às plantas (MEERT et al., 2009).

A utilização de pós de rochas como produto alternativo na fertilização de solos tem sido relatada há várias décadas, com o intuito de reduzir o custo de produção das culturas pelo uso de adubos minerais (CUNHA e NETO, 2015).

Os pós de rocha apresentam como características a composição multielementar e a capacidade de solubilização lenta, que são apropriadas para a utilização em sistemas de produção alternativos, principalmente em solos tropicais degradados (VAN STRAATEN, 2006).

Existem produtos para enriquecimento e manutenção do solo, e sua utilização é atrelada a uma série de variáveis, como fatores naturais, como tipos de solo, clima, fatores econômicos e fatores ideológicos, tendo em vista que muitos produtores hoje optam por cultivos menos agressivos ao meio ambiente.

Nesse contexto, Resende *et al.* (2006a) relata o potencial de diversas rochas, como fonte de nutrientes. Com isso, o presente trabalho objetiva estudar a resposta de doses de remineralizadores, incubadas em Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Pétrico e Plintossolo Háplico na condição de várzea, em suas características químicas.

2. Revisão da Literatura

2.1 Características dos Solos do Tocantins

A maioria dos solos brasileiros encontra-se em estágio avançado de intemperismo, apresentando elevada acidez, baixa disponibilidade de nutrientes e argilas de baixa atividade, que resultam em baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e carência, principalmente, em fósforo e potássio (CASAGRANDE et al. 2003).

Vários são os atributos do solo que podem influenciar na adsorção de fósforo e potássio, sendo os principais o tipo e teor de argila, de colóides amorfos e de matéria orgânica (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Quanto mais intemperizado o solo, maior tende a ser sua capacidade de fixação de P e K, o que justifica a necessidade de doses elevadas destes nutrientes nos solos altamente intemperizados do Brasil, principalmente na região do cerrado que, para conseguir um bom desempenho no campo, necessita de elevado investimento em fertilizantes e corretivos (GUTIERREZ et al., 2011).

No Brasil, o maior consumo de fertilizantes e corretivos ocorre nas grandes e médias propriedades agrícolas (IBGE, 2015). Os fertilizantes a base de fósforo e o potássio são os mais intensivamente consumidos para nutrir esse tipo de solo (OLIVEIRA et al., 2006).

Devido às características climáticas, material de origem e ao alto intemperismo, os solos do cerrado, são intensamente lixiviados e com baixa fertilidade natural (WATANABE *et al*., 2005). Os solos do Tocantins apresentam baixos teores de nutrientes e alta acidez, o que requer intervenções adequadas para garantir a sustentabilidade agrícola (Silva et al., 2019).

Os principais solos de ocorrência no Tocantins são das classes

ISSN 2178-6925

Plintossolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos (IBGE, 2013). Os Plintossolos e Neossolos são considerados solos frágeis por apresentarem composição química que demanda por melhorias para a construção da fertilidade.

Os solos de várzeas, por sua vez, se caracterizam por apresentarem solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, facilmente irrigáveis por gravidade, na maioria dos casos, e inundados temporariamente ou não (margens de córregos, rios, vales úmidos), porém, apresentando, muitas vezes, umidade excessiva, necessitando de drenagem adequada (EMBRAPA, 2015).

2.2 Definição e Tipos de Remineralizadores

Os remineralizadores são materiais de origem natural, ricos em minerais essenciais, que são aplicados ao solo com o objetivo de melhorar suas propriedades químicas, físicas e biológicas. No estado do Tocantins, a utilização desses insumos tem ganhado destaque devido às características específicas dos solos da região e às demandas da agricultura local. Os remineralizadores, como pós de rochas, têm se mostrado eficazes na liberação lenta de nutrientes, melhorando a fertilidade do solo a longo prazo (FERREIRA e OLIVEIRA, 2020).

As rochas fosfáticas podem ser de origem ígnea, metamórfica e sedimentar. Os fosfatos de origem ígnea e metamórfica são considerados de modo geral, como de baixa reatividade no solo, os de origem sedimentar são considerados como sendo reativos no solo, mas não é somente a origem que determinará a sua reatividade no solo, a eficiência agronômica dos fosfatos em geral está diretamente correlacionada com a sua solubilidade (GOEDERT e LOBATO, 1980).

Os fosfatos naturais que reagem no solo mais lentamente podem apresentar um efeito residual compensatório, a longo prazo, e sua eficiência pode se equiparar aos fosfatos solúveis, quando analisado num período maior (NAKAYAMA *et al*., 1998). pois sendo um fosfato de origem sedimentar, caracteriza-se por apresentar alto grau de substituição isomórfica do íon fosfato por carbonato, o que lhe confere maior velocidade de reação no solo, quando comparado a outros fosfatos naturais (NOVAIS *et al*., 2007).

2.3 Benefícios do Uso de Remineralizadores

A prática da rochagem no Brasil tem sido motivada por três questões principais: dependência externa por fontes de fertilizantes de alta solubilidade, as

quais são escassas no país, resultando na necessidade de importação de mais de 70% das fontes de N, P e K (RODRIGUES *et al*., 2010); destinação dos rejeitos de atividades mineradoras e demanda do segmento da agricultura orgânica por fontes fertilizantes, uma vez que o uso de adubos é restrito neste segmento produtivo.

Existem produtos para enriquecimento e manutenção do solo por fósforo, e sua utilização é atrelada a uma série de variáveis, como fatores naturais, como tipos de solo, clima, fatores econômicos e fatores ideológicos, tendo em vista que muitos produtores hoje optam por cultivos menos agressivos ao meio ambiente.

A aplicação de remineralizadores em solos ácidos do Tocantins resultou em um aumento significativo nos teores de fósforo, potássio e cálcio (Mendes *et al*., 2018). Ao contrário dos fertilizantes sintéticos, os remineralizadores são mais sustentáveis e apresentam um custo-benefício favorável a longo prazo. O uso de remineralizadores contribui para a sustentabilidade agrícola, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e promovendo uma agricultura mais ecológica (Gomes e Santos, 2021).

Ensaios realizados em áreas agrícolas do Tocantins demonstraram que a aplicação de remineralizadores resultou em aumentos significativos na produtividade de culturas como soja e milho (Almeida *et al*., 2022).

Apesar dos benefícios, existem desafios na adoção generalizada de remineralizadores, incluindo a falta de conhecimento técnico e a necessidade de mais pesquisas para otimizar as doses e métodos de aplicação. A adoção de remineralizadores enfrenta desafios relacionados à falta de conhecimento técnico e à necessidade de regulamentações específicas que incentivem seu uso (Pereira et al., 2023).

3. Metodologia

O experimento foi realizado no laboratório de mineralogia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), em Gurupi (TO). As amostras de solo foram coletadas em propriedades rurais localizadas em diferentes regiões do Estado do Tocantins. As de Neossolo Quartzarênico foram coletadas em área nativa na região do Jalapão - TO, latitude 10°13'22,05" Sul, Longitude 47°37'50,87" Leste e altitude de 345 m. As de Plintossolo Pétrico em área nativa na região de Gurupi – TO, latitude 11º43’45” Sul, longitude 49º04’07” Oeste e altitude de 278 m. E as de Plintossolo Háplico em condições de várzea, em propriedade rural com cultivo de soja, na região de Lagoa da Confusão -TO, Latitude 10° 51' 31.9" Sul, 49° 39' 45" Oeste e

altitude de 186 m. A caracterização química e física dos solos coletados está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes e caracterização química e física dos solos utilizados na incubação com diferentes doses de remineralizador. Gurupi - TO, 2023.

Solo ·	Ca	Mg	Al	H+Al	K	CTC (t)	SB	K	P-meh
	.....cmolc.dm^3.....							.....mg.dm^3.....	
RQ	0,5	0,1	0,3	2,00	0,03	2,63	0,63	10,0	2,6
FF	0,3	0,1	0,6	2,50	0,04	2,94	0,44	16,0	1,2
FXd	2,2	0,3	0,0	3,80	0,48	6,78	2,98	186	5,5

	V	m	M.O.	pH H_2O	Areia	Silte	Argila
	.....%.....				.....Textura (g.kg^{-1}).....		
RQ	24,00	32,00	0,80	4,5	875	50	75
FF	15,00	58,00	1,80	4,4	600	50	350
FXd	44,00	00,00	1,90	5,3	575	125	300

RQ: Neo.solo Quartzarênico; FF: Plintossolo Pétrico; FXd: Plintossolo Háplico Distrófico

Os solos foram coletados na camada de 0–20 cm, as amostras foram destorroadas e secas ao ar, e a incubação foi realizada sem a retirada das concreções, com intuito de observar a reação química na incubação em cada tipo de solo. As unidades experimentais (UE) foram constituídas por sacos plásticos, contendo 300 g de solo.

A umidade do solo das UE foi mantida próximo a 70% da capacidade de campo, utilizando água destilada e seguida de homogeneização após o umedecimento. Os sacos plásticos foram fechados com arame, deixando uma fresta para realização das trocas gasosas.

Os solos foram incubados após aplicação das doses dos remineralizadores, por um período de 60 dias (12/10/2021 a 12/12/2021) seguindo a metodologia utilizada por Machado (2017).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial duplo (3x5) com quatro repetições, constituído pela combinação de três tipos de solo com texturas contrastantes (Neossolo Quartzarênico Órtico típico, Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico e Plintossolo Háplico Distrófico tipico em condições de várzea), e por cinco doses (0,

ISSN 2178-6925

1, 2, 3 e 4 t ha-1 de remineralizador) de fonte de rocha fosfática extraída e moída na região de Peixe – TO.

O agromineral utilizado na formação dos tratamentos origina da rocha fosfática extraída e moída na região de Peixe – TO, apresentando granulometria de 100% passante em 2 mm, 99,71% passante em 0,84 mm e 90,36% passante em 0,3 mm, com as características químicas descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição e características químicas da rocha extraída e moída na região de Peixe – TO.

Si	CaO	$P_2 0_5$	K_2O	MgO	B	Fe
			%			
31,8	1,2	5,76	4,5	0,54	0,224	1,29

Fonte: Laboratório CAMPO, 2020.

Posterior ao período de incubação, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas na peneira de 2 mm, obtendo assim a terra fina seca ao ar (TFSA), apta para realização das análises químicas, para definição da curva de absorção e disponibilização de nutrientes do remineralizador no solo, dando ênfase aos teores de Ca, P, K, Mg, H+Al e Al e os valores pH, CTC, SB e CE no solo.

O P, K, Ca e Mg foram extraídos por Mehlich^{-1} (0,0125 mol L^{-1} de H_2SO_4 e 0,05 mol L^{-1} de HCl), sendo as leituras destes elementos realizadas no equipamento plasma MPAES 4100/4200. O Al+H foi extraído por solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} em pH 7 e titulados com NaOH 0,025 mol L^{-1} com adição de fenolftaleína 3%; o Alumínio foi obtido na extração do KCl 1 mol L^{-1}, com indicador azul de bromotimol, titulado com NaOH 0,025 mol L^{-1} em pH 5,5; o pH foi determinado em água destilada, com leitura realizada com o uso do medidor de pH MpA210; a condutividade elétrica também foi determinada em água destilada, sendo aferida com o condutivímetro.

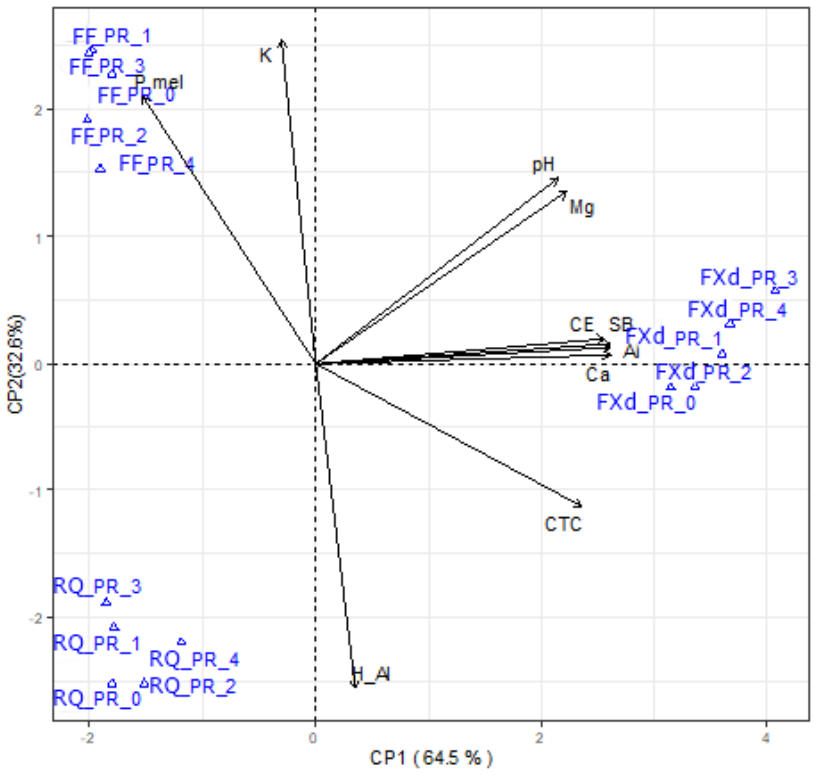
O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância ($p<0,05$) e, com base nas significâncias foram testadas análises de regressão até 2° grau admitindo-se $R^2 > 70\%$. Ainda, utilizou-se uma análise de componentes principais (ACP). As análises estatísticas foram realizadas pelo Software estatístico R 4.1 (R Development Core Team, 2022).

ISSN 2178-6925

4. Resultados e Discussão

A análise de componentes principais (ACP) explicou 97,1% da variância original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2) (Figura 1). Para o eixo 1, que reuniu 64,5% da variância dos dados, observa-se a associação positiva entre SB (r = 0,99; p<0,01), Al (r = 0,99; p<0,01), Ca (r = 0,99; p<0,01), CE (r = 0,97; p<0,01), CTC (r = 0,89; p<0,01), Mg (r = 0,84; p<0,01) e pH (r = 0,81; p<0,01). Para esse eixo, destaca-se o Plintossolo Háplico em condições de várzea, em especial a dose de 3 Mg ha^{-1} de remineralizador, no qual se obteve os maiores valores dos atributos químicos.

Figura 1 - Dispersão gráfica biplot de três tipos de solos submetidos a doses crescentes de remineralizador, e baseada em escores de 12 caracteres químicos, representados pelos dois primeiros componentes principais.



RQ: Neossolo Quartzarênico; **FF:** Plintossolo Pétrico; **FXd:** Plintossolo Háplico em condições de várzea; **0, 1, 2, 3 e 4:** doses de remineralizador (0, 1, 2, 3, 4 toneladas, respectivamente).

No eixo 2, que acumulou 32,6% da variância, observou-se a relação inversa do K (r = 0,96; p<0,01) e P mel (r = 0,79; p<0,01) com H+Al (r = -0,97; p<0,01). Resultados que demonstram, que, para as condições avaliadas, solos com maiores teores de K e P mel possuem menor teor de H+Al, e vice-versa. Para esse eixo,

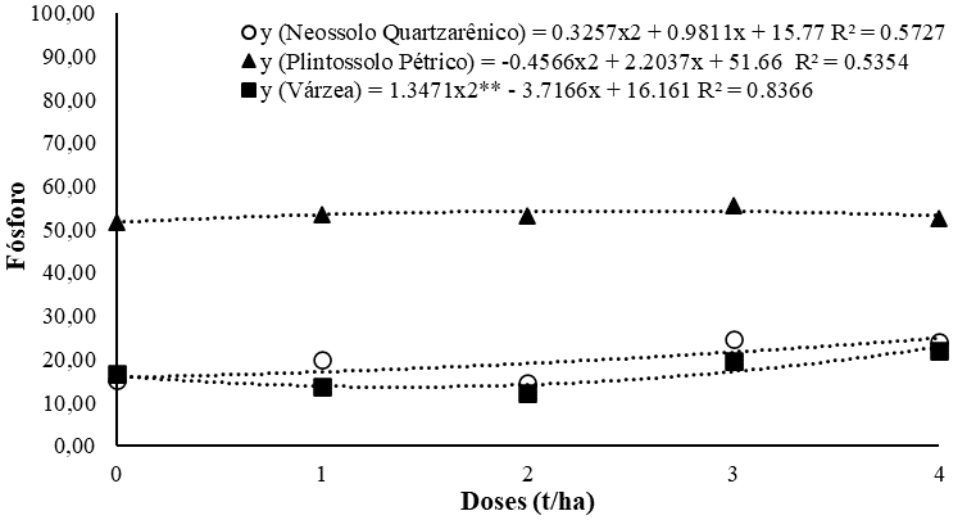
destaca-se o Plintossolo Pétrico, em especial, com a aplicação da dose de 1 Mg ha^{-1} de remineralizador, no qual se se obteve os maiores valores de K e P mel. Em contraste, menores valores desses nutrientes foram observados no Neossolo Quartzarênico, que se caracterizou pelos maiores teores de H+Al.

A concentração de fósforo se ajustou significativamente ao modelo quadrático de regressão apenas para o Plintossolo Háplico em condições de várzea (Figura 2). Para esse solo, a concentração mínima de fósforo foi obtida na dose de 1,37 Mg ha^{-1} de remineralizador, com 13,59 mg dm$^{-3.}$

Era esperado esse aumento de P no solo, devido à constituição da rocha fosfática ser rica neste elemento, sua adição ocasionou elevação nos teores de fósforo no Plintossolo Háplico em condições de várzea, de maneira que, um dos fatores que favoreceu esse incremento foi o intemperismo da rocha fosfática, cuja composição tem 5,76% de P2O5.

Outro fator que pode ter contribuído para esse resultado seria a presença de óxidos de silício na composição do remineralizador, e com a liberação do silício na solução do solo, este interfere na adsorção do ânion de fosfato, pois o silício tem carga positiva e o fosfato tem carga negativa (GILLMAN *et al.*, 2002).

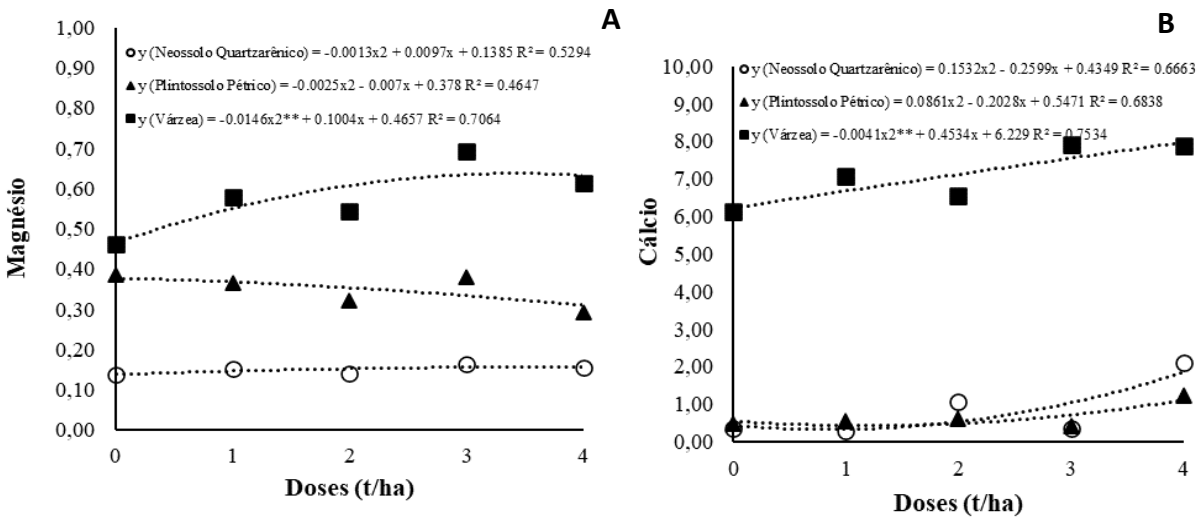
Figura 2 - Teores de P (mg dm-^{3}) em resposta a aplicação de diferentes doses de remineralizador (t ha^{-1}).



A aplicação de remineralizador influenciou no teor de cálcio do Plintossolo Háplico em condições de várzea, obtendo-se ajuste ao modelo linear de regressão. Para esse solo, as maiores concentrações de Ca foram obtidas quando da aplicação de 4 t ha^{-1} de remineralizador (Figura 3A).

Devido à constituição do remineralizador utilizado, apresenta 1,2% deste elemento, sua adição ocasionou elevação nos teores de Ca no solo, sendo diretamente proporcional ao aumento das doses, mostrando o potencial de liberação desse nutriente proveniente do produto avaliado. De maneira que, ao aplicar 4 t ha^{-1} de remineralizador, estava sendo disponibilizado 48 kg ha^{-1} de CaO no solo.

Figura 3 - Teores de Ca e Mg ($cmolc.dm^{-3}$) em resposta a aplicação de diferentes doses de remineralizador (t/ha).



Ajuste ao modelo quadrático de regressão também foi obtido para a concentração de magnésio em Plintossolo Háplico em condições de várzea. No qual obteve-se uma concentração de 0,63 cmolc dm^{-3} de Mg com a aplicação de 3,44 Mg ha^{-1}de remineralizador (Figura 3B).

Para o Ca e Mg nos demais solos (Neossolo Quartzarênico e Plintossolo Pétrico), observa-se que os incrementos nas concentrações foram extremamente baixos ou até mesmo ausentes. Este fato também foi verificado por Melo *et al.*, (2012), que observaram que essa baixa no incremento indica que nesta rocha estes minerais possuem baixa disponibilidade.

Outro fator que justifica esse baixo incremento de Ca e Mg no Neossolo Quartzarênico, é a baixa CTC e a baixa quantidade de argila, indicando menor quantidade de cargas negativas nesse solo. Uma vez que o cálcio existe como um cátion, ele é governado pelo fenômeno de troca de cátions, assim como outros cátions, e é retido pelo Ca^{2+} trocável nas superfícies negativas das argilas e da M.O. (LOPES, 1995).

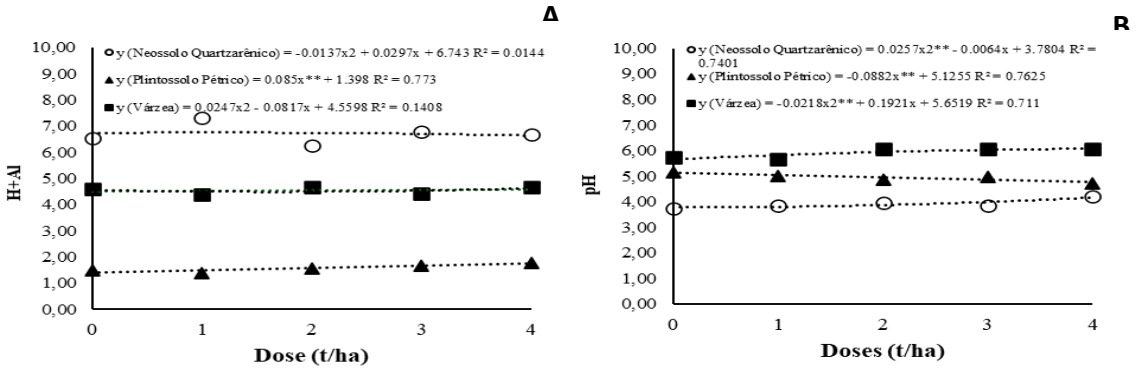
O aumento das dosagens de remineralizador resultou no aumento do pH do Neossolo Quartzarênico e do Plintossolo Háplico em condições de várzea. Em contraste, para o Plintossolo Pétrico o incremento das dosagens refletiu em diminuição do pH (Figura 4A).

O aumento do pH no Neossolo Quartzarênico se deu por se tratar de um solo com menor poder tampão. O mesmo comportamento do remineralizador em relação ao pH no Neossolo Quartzarênico e no Plintossolo Háplico em condições de várzea, foi observado por Maeda *et al.* (2014) onde os autores constataram que a "farinha de rocha" não possui o poder de neutralização do pH.

No trabalho de Maeda *et al.* (2014), a matéria prima utilizada é oriunda de rocha metamórfica, comparando os resultados obtidos neste trabalho estima-se que, a rocha fosfatada extraída na cidade de Peixe – TO, tem origem sedimentar, e por isso teve uma maior capacidade de neutralização do pH no Plintossolo Pétrico. Assim, o principal indício observado, ao analisar os resultados obtidos, é a capacidade de solubilidade da rocha silicatada.

Pontes *et al.* (2010) notou que empregando o remineralizador originário de uma mistura de duas rochas, o biotitaxisto e o serpentinito na proporção de 1:1, o pH do solo Neossolo Flúvico elevou, possivelmente devido aos elevados percentuais de MgO e de CaO contidos no remineralizador utilizado. O remineralizador, utilizado neste trabalho, é constituído por 1,2 % de CaO e 0,54% de MgO, o que justifica os resultados apresentados pelo Neossolo Quartzarênico e Plintossolo Háplico em condições de várzea.

Figura 4 - Valores de pH e teores de H+Al (cmolc.dm^{-3}) em resposta a aplicação de diferentes doses de remineralizador (t/ha).



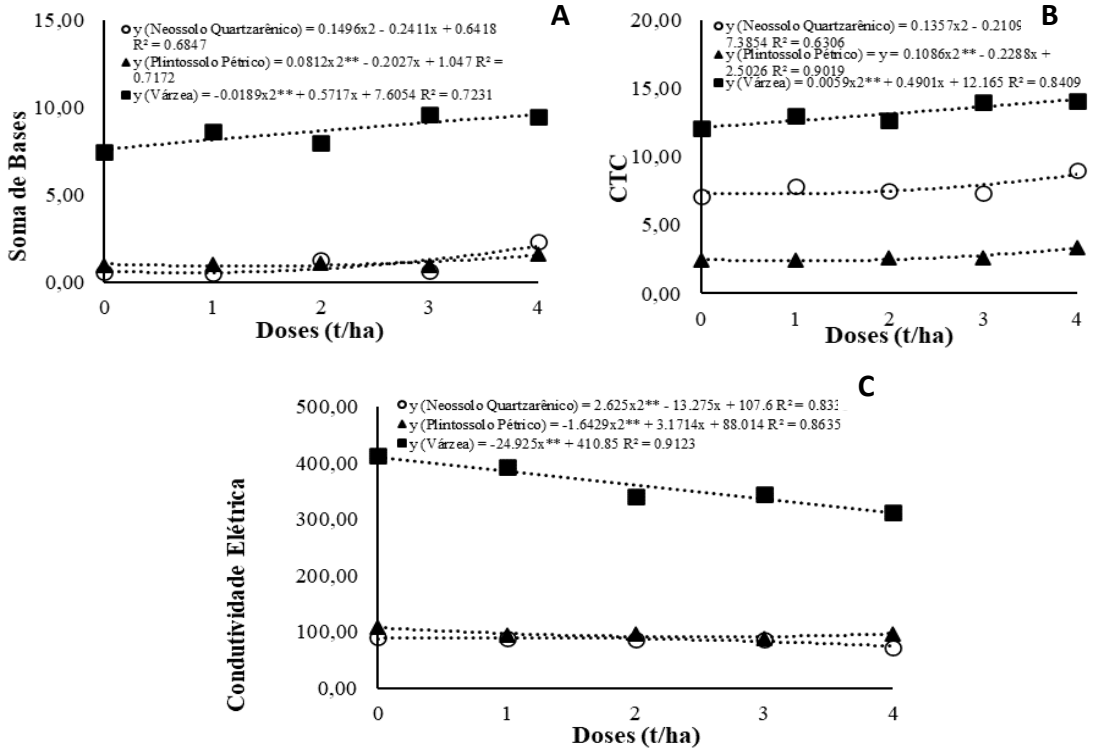
A aplicação do remineralizador influenciou nos teores de H+Al no Plintossolo Háplico em condições de várzea, com incrementos dessa variável com

o aumento das doses aplicadas (Figura 4B). Nos demais solos o efeito pode não ter se expressado significativamente devido a reação do cálcio e magnésio com o solo ácido, onde ocorre a liberação de hidroxilas (OH) que se ligam ao H e Al reduzindo a ação da acidez potencial (RHEINHEIMER *et al.*, 2000).

A soma de bases (SB) do Plintossolo Háplico em condições de várzea respondeu de forma linear ao aumento das doses de pós de rocha. Já para o Plintossolo Pétrico, esse ajuste foi quadrático, com a dose de mínima eficiência obtida na dose de 1,24 t ha^{-1} de remineralizador, com uma SB de 0,92 cmolc dm^{-3} (Figura 5A).

O Plintossolo Pétrico composto por 70% de petroplintita, dessa forma, fica disponível apenas 30% de solo para reagir com o remineralizador, a parte petroplintita não faz absorção dos nutrientes e, portanto, apresenta menor reação com os nutrientes disponibilizados. Além disso, este solo está relacionado ao poder tampão, pois solo que normalmente apresenta alta drenagem vertical e, principalmente, alto poder tampão, o solo tende a voltar para seu estado normal de pH, as vezes voltando até mais severo, por isso se aplica torno de 8 Mg ha^{-1} de calcário.

Figura 5 - Teores de SB, CTC (cmolc.dm^{-3}) e CE (µS/cm) em resposta a aplicação de diferentes doses de remineralizador (t/ha).



Incremento na CTC foi observado para o Plintossolo Háplico em condições de várzea com o aumento linear da dose de remineralizador. Em contraste, o Plintossolo Pétrico se ajustou ao modelo quadrático de regressão, com CTC de 2,37 cmolc.dm^{-3} na dose de mínima eficiência de 1,057 t ha^{-1} de remineralizador (Figura 5B).

Uma redução na condutividade elétrica (CE) foi obtida com o aumento da dose de remineralizador no Plintossolo Háplico em condições de várzea. Para o Neossolo Quartzarênico e Plintossolo Pétrico, obteve-se ajuste ao modelo quadrático de regressão. No entanto, com comportamentos distintos para esses solos. Para o Neossolo Quartzarênico se obteve uma dose de máxima eficiência com a aplicação de 2,57 t ha^{-1} de remineralizador, com CE de 90,81 µS cm^{-1}. Já para o Plintossolo Pétrico, verificou-se a mínima eficiência na dose de 0,96 t ha^{-1}, no qual a CE foi de 89,54 µS cm^{-1} (Figura 5C).

5. Conclusão

Observa-se a associação positiva entre K, SB, Ca, Al, CE, Mg, CTC e pH para o Plintossolo Háplico em condições de várzea, na dose de 3 Mg ha^{-1} de remineralizador. Dessa forma, os resultados demonstram que, para as condições avaliadas, o remineralizador não se apresenta como opção viável para a fertilização de Plintossolo Pétrico e Neossolo Quartzarênico, de áreas nativas (cultivo em área de abertura/primeiro ano). No entanto, confirmam a prática de rochagem como uma alternativa para a reposição de nutrientes de forma complementar, para manutenção da fertilidade de solos frágeis, já agricultados.

Referências

Almeida, T. A., et al. (2022). Impacto dos remineralizadores na produtividade de culturas agrícolas no Tocantins. **Revista de Agricultura**, 101-110.

CASAGRANDE, J. C. *et al.* Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 51-59, 2003.

CUNHA, MARCELO KÖNSGEN. Efeito do emprego de fonte alternativa de potássio na produtividade de pastagem/ João Gonsalves Neto. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015. 24p. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** / **Embrapa Pesca e Aquicultura**, ISSN 2358-6273; 9)

EMBRAPA. Produção de sementes sadias de feijão comum em várzeas tropicais. In: **EMBRAPA Arroz e Feijão - Sistemas de Produção**. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/; Acesso em janeiro de 2023.

Ferreira, M. S., & Oliveira, L. A. (2020). Remineralizadores de solo: uma revisão. Ciência e Agrotecnologia, e025620.

GILLMAN, G. P.; BURKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **AFFlied Geochemistry**, v.17, n.8, p.987-1001, 2002.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Agropecuária Brasileira,** v.15, n.3, p.311-318, 1980.

Gomes, A. P., & Santos, M. C. (2021). Sustentabilidade na agricultura: o papel dos remineralizadores. **Agricultura Sustentável**, 234-248.

GUTIERREZ, R. S.; INOCÊNCIO, M. F.; NOVELINO, J. O. Extração de silício em solos fertilizados com fosfato e silicato. e-ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat - **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 1-7, jan./mar. 2011

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Solos Tocantins**. 2015. Disponível em: http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos. Acesso em nov. 2022.

IBGE; RIO DE JANEIRO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 26 v.

LEONARDOS, Othon Henry; FYLE, Willian; KRONBERG, Barbara. **The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers: Chemical Geology**, 60:361-370 1997.

LOPES, Alfredo Scheid. **Manual internacional de fertilidade do solo.** 2. ed. Potash e Phosphate Institute, EUA 1995.

MACHADO, A. F. **Dissolução, doses de calcário, métodos e disponibilidade de nutrientes em cinco solos do Tocantins.** Dissertação (mestrado acadêmico) Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi – Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2017.

MAEDA, S.; DA SILVA, H.D.; BOGNOLA, Itamar Antonio. Efeito de rocha moída em características químicas do solo e no desenvolvimento de eucalipto. In: Embrapa Florestas- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA**, 3., 2014, Campinas. Anais: resumos expandidos. Curitiba: alinovski, 2014., 2014.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilizantes do solo**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MARTINS, E.S; THEODORO, S.H. Congresso Brasileiro de Rochagem In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, 2010: Brasília. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**.

MEERT, L. *et al.* Produtividade e rentabilidade da soja cultivada com fontes alternativas de nutrientes em Guarapuava, PR. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 3371-3374, 2009.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazônica**, v.42, n.4, p.471-476, 2012.

Mendes, R. F., et al. (2018). Efeitos da aplicação de remineralizadores em solos ácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 415-422.

NAKAYAMA, L.H.I.; CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, v. 55, n. 2, 1998.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, Fabio Alvares de *et al.* **Eficiência da adubação residual com rochas brasileiras para a cultura da soja: Espaço e Geografia**, v.9, p.231-246, 2006.

Pereira, V. L., et al. (2023). Desafios e perspectivas no uso de remineralizadores. **Jornal de Solos e Nutrição**, 987-997.

PONTES, A.S.C.; ARAÚJO, F.P.; ARAÚJO, J.F.; MOUCO, M.A.; BOAS, R.L.V.; FERNANDES, D.M. Emprego do remineralizador mb-4 sobre a produção do coentro. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/156399/1/OPB145.pdf **Rochagem**; editores Eder de Souza Martins, Suzi Huff Theodoro Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 322, 2010.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. 2022. **R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria**. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.

RESENDE, Alvaro Vilela *et al.* Rochas como Fontes de Potássio e outros Nutrientes para Culturas Anuais. Brasil: **Espaco e Geografia**, 2006. 9 v. 135-161.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 797–805, 2000.

ISSN 2178-6925

RODRIGUES, A.F.S.; FONSECA, D.S.; HIDER, M.; *et al.* Agrominerais: recursos e reservas. In: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380p

Silva, J. R., *et al*. (2019). Características dos solos do Tocantins e suas implicações para a agricultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 789-799.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and oFFortunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.4, p.731-747, Rio de Janeiro. 2006.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. B.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTO, M. Soybean yield under different density of populations and cations percentage (Ca, Mg and K) in base saturation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 477-484, 2005.