

# USO DE PÓ DE BASALTO E ROCHA FOSFATADA COMO REMINERALIZADORES EM SOLOS INTENSAMENTE INTEMPERIZADOS

## USE OF BASALT AND PHOSPHATE ROCK POWDER AS FERTILIZERS IN WEATHERED SOILS

Rafael Gomes da Silveira TOSCANI<sup>1</sup> & José Elói Guimarães CAMPOS<sup>2</sup>

(1) Instituto de Geociências - Universidade de Brasília. Endereço eletrônico: toscanisilveira@gmail.com

(2) Instituto de Geociências - Universidade de Brasília. Endereço eletrônico: eloi@unb.br

Introdução

Materiais e Métodos

Coleta e preparação de amostras

Formatação do experimento

Estudos mineralógicos

Fluorescências de raios-X

Medição de pH em água e em KCl

Elementos disponíveis

Análise da área foliar

Resultados e Discussão

Descrição pedológica

Mineralogia das rochas basálticas

Mineralogia das rochas fosfatadas

Composição química do solo utilizado no experimento

Geoquímica da fluorescência de raios-X no primeiro ano de plantio

Geoquímica de fertilidade do solo após um ano de plantio

Comportamento eletroquímico

Análise mineral do experimento durante um ano

Avaliação da área foliar

Considerações finais

Agradecimentos

Referências

**RESUMO** - A rochagem consiste na utilização de pós de rocha como remineralizador natural para agricultura. No experimento utilizaram-se remineralizadores de fosforito, basalto e dolomito fosfatado que foram comparados com os fertilizantes solúveis (40N, 30P, 10K) e o Latossolo controle. Construíram-se doze parcelas de plantio sobre o Latossolo Vermelho distrófico com diferentes proporções e misturas dos insumos, sendo testada também a necessidade ou não da calagem, durante o plantio do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*). Foram feitas lâminas petrográficas, análises de fertilidade, difração de raios-X, fluorescência de raios-X, e medições da área foliar. Com isso, em um ano de estudo, notou-se que a rochagem adicionou ao solo fluorapatita, vermiculita, montmorilonita, dolomita, anortita, augita e albita - minerais fontes de fosfato, cálcio, sódio e magnésio. Ainda, verificou-se que nas parcelas com uso exclusivo de rochagem houve uma disponibilidade e/ou lixiviação dos óxidos de potássio, fósforo e enxofre 2,14 vezes maior que no uso da rochagem e calagem. Entretanto, as respostas agrônomicas foram mais interessantes quando se utilizou em conjunto a calagem devido ao melhor equilíbrio iônico. Por fim, a rochagem apresentou efeito residual e aumentou o pH e a V e diminuiu a saturação por alumínio e o teor de matéria orgânica do solo.

**Palavras-chave:** Fertilização Alternativa, Remineralizador, Basalto, Fosforito, Calagem.

**ABSTRACT** - The use of rock powders as natural fertilizer for agriculture is the technique denominated in Brazil as *rochagem*. In this experiment powders of phosphorite, basalt and phosphate dolostone were compared with the soluble fertilizers (40N, 30P, 10K) and the control Red Oxisol. Twelve planting parcels on the Red Oxisol with different proportions and mixed inputs were tested. It was also tested the use of carbonate powder to the better development of planting of beans (*Phaseolus vulgaris L.*). There were used some analytical techniques, including: X-ray diffraction, X-ray fluorescence, soil fertility and measurements of leaf area. These studies indicate that the use of rock powder added to the soil fluorapatite, vermiculite, montmorillonite, dolomite, anorthite, augite and albite. These minerals may be sources of phosphate, calcium, sodium and magnesium. Soil geochemistry showed that parcels with exclusive use of rock powder have availability and/or leaching of potassium oxides, phosphorus and sulphur 2.14 times greater than in the parcels using rock powder and liming. However, when liming was used the agronomic response was more interesting due to the better ionic balance. Finally, the use of rock powders presented residual effect and increased-quickly the pH and the bases saturation and decreased the aluminum saturation and the soil organic matter.

**Keywords:** Alternative Fertilization, Rock Powder, Basalt, Phosphorite, Liming.

## INTRODUÇÃO

A forma de fertilização mais usual na agricultura moderna é por meio de fontes industrializadas de nutrientes que são basicamente fertilizantes solúveis como o NPK (mistura de diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio), além de outros micronutrientes específicos para cada tipo de

solo e cultura. Esta adubação tem como principal vantagem a rápida disponibilização de nutrientes para as plantas e possibilitou a produção agrícola em solos tropicais profundos e muito pobres em nutrientes, especialmente a partir da década de 1970.

Apesar disto, esse sistema de exploração

acarretou uma gama variada de problemas ambientais que motivaram questionamentos sobre a sustentabilidade das técnicas agrícolas tradicionais em ecossistemas frágeis (Shiki et al., 1997; Martins et al., 2010).

Desta maneira, outras técnicas de adubação devem ser testadas e utilizadas. A técnica da rochagem é baseada na utilização de rochas e ou minerais como fornecedores dos nutrientes necessários para as plantas (Leonardos et al., 1976). Para esse tipo de fertilização é essencial combinar a mineralogia e geoquímica da rocha selecionada com as exigências do solo e das plantas (Souza, 2014).

Em clima temperado o uso da rochagem é objeto de estudo há bastante tempo, entretanto, em países tropicais os trabalhos envolvendo

caracterização mineralógica e geoquímica das rochas e do solo são mais raros. Este quadro é preocupante, visto que justamente nos trópicos os resultados agrícolas positivos são mais significativos devido à maior dissolução de grande volume de rochas silicáticas em consequência da maior acidez do solo (Van Straaten, 2006).

Neste estudo, objetivou-se determinar a mineralogia e a geoquímica do solo antes e depois da aplicação de diversos insumos como pós de basalto (Formação Serra Geral), fosforito e dolomito fosfatado (Grupo Bambuí), NPK e calagem (através do uso de pós de dolomito). Além disso, o desenvolvimento das plantas com o uso dos insumos foi avaliado por meio da área foliar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada apresentou dois focos principais, o primeiro abrangeu a análise do solo e do material aplicado, incluindo aspectos como pH, mineralogia e composição geoquímica. O segundo enfoque, relacionado com o desenvolvimento foliar do feijoeiro, envolveu a comparação das áreas das folhas cultivadas com diferentes misturas de pó de rocha (remineralizador), fertilizante solúvel (NPK) e a utilização ou não de calagem.

### Coleta e preparação de amostras

As rochas de origem sedimentar ricas em fosfato foram extraídas da base da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) dos municípios de Arraias e Taipas (TO) e as rochas basálticas

foram retiradas nas proximidades de Araguari (MG) e são associadas à Formação Serra Geral. A granulometria usada foi propositalmente variada (Tabela 1), a fim de facilitar a visualização de processos mineralógicos, bem como possibilitar a disponibilização dos nutrientes de forma mais eficiente (Niwas et al., 1987; Harley & Gilkes, 2000).

Vale ressaltar que o único insumo oriundo da rochagem que necessitou passar pelo processo de moagem foi o dolomito fosfatado, visto que o basalto foi coletado como rejeito de uma pedreira e que o fosforito brechado já se encontrava em estado friável. Estes fatos contribuem de forma significativa para a diminuição do custo de beneficiamento.

**Tabela 1** - Análise granulométrica dos insumos remineralizadores utilizados na rochagem como o basalto, o fosforito brechado e o dolomito fosfatado.

Composição Granulométria (g/kg)	Diâmetro do Grão (mm)	Basalto	Fosforito	Dolomito
Argila	< 0,002	125,0	475,0	150,0
Silte	0,05 - 0,002	861,266	521,941	831,394
Areia	> 0,002	750,0	250,0	800,0
Areia média	0,50 a 0,20	5,075	0,272	2,88
Areia muito grossa	1,0 a 2,0	8,659	2,787	15,726

### Formatação do experimento

O projeto foi iniciado em 28/10/2014 quando houve o preparo da terra no campo em doze parcelas de 4 m<sup>2</sup>, com aragem de forma manual, seguido da aplicação de fosforito, dolomito fosfatado, basalto e NPK (4:30:10). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Neste procedimento, metade das parcelas foi

submetida à calagem, com objetivo de verificar e comparar o poder de correção do pH dos insumos aplicados.

Assim, foram realizadas doze parcelas com os seguintes insumos: **Parcela 1:** uso exclusivo de NPK; **Parcela 2:** aplicação de NPK e calagem; **Parcela 3:** uso de exclusivo de fosforito (120 kg); **Parcela 4:** utilização de fosforito (120 kg) e calagem; **Parcela 5:** uso de

fosforito (60 kg) e basalto (80 kg); **Parcela 6:** uso de fosforito (60 kg), basalto (80 kg) e calagem; **Parcela 7:** utilização de fosforito (20 kg) e basalto (80 kg); **Parcela 8:** emprego de fosforito (20 kg), basalto (80 kg) e calagem; **Parcela 9:** aplicação de basalto (120 kg); **Parcela 10:** uso de basalto (120 kg) e calagem; **Parcela 11:** utilização de dolomito fosfatado (120 kg); **Parcela 12:** Latossolo controle.

No experimento foram revolvidos 20 cm do solo e aplicada uma camada de remineralizadores, com espessura aproximada de 3 cm, o qual corresponde a uma concentração de 15 % em volume. Vale ressaltar que este teor é bastante elevado e realizou-se apenas uma grande aplicação na tentativa de simular um efeito cumulativo no ambiente como realizado no estudo de Bertossi et al. (2012).

Essa superdosagem eventualmente causa desequilíbrios iônicos no solo que podem gerar impactos ambientais como a diminuição da condutividade hidráulica, aumento da salinidade e condutividade elétrica. Além disso, alguns elementos em elevado teor podem ser tóxicos às plantas como o Fe, Mn, Cu e Zn. Esses problemas ocorrem de forma mais acentuada em solos com deficiência de drenagem (Ayers & Westcot, 1994; Bernardo et al. 2006; Bertossi et al. 2012). No caso dos experimentos onde houve aplicação de 140 kg de remineralizador, seria equivalente a uma concentração de 350 t.ha<sup>-1</sup>, na aplicação de 120 kg, equivalente a 300 t.ha<sup>-1</sup> e para 100 kg de remineralizador a cerca de 250 t.ha<sup>-1</sup>.

Após a aplicação dos insumos, as misturas ficaram em repouso durante 15 dias, a exceção do NPK que foi colocado de forma direta durante a semeadura com teores de 400 kg.ha<sup>-1</sup> do formulado 4:30:10 seguindo recomendações da EMBRAPA (2003).

Utilizou-se 1,84 t.ha<sup>-1</sup> de pó de calcário (30 % CaO, 18% MgO, 100% RN e 100% PRNT) no processo de calagem. Esta quantidade foi baseada no cálculo das saturações por bases e nas recomendações da EMBRAPA (2004).

Em seguida, no dia 12/11/2014 iniciou-se o primeiro plantio do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) de forma manual com espaçamentos de 0,40 m a 0,60 m entre fileiras e com 10 a 15 plantas por metro quadrado. Os outros dois plantios foram realizados nos dias 1/02/2015 e 28/11/2015.

Esta cultura foi escolhida pelo rápido ciclo de desenvolvimento, sendo que em um período de 55 dias já é possível levantar dados agronômicos. Deste modo, realizou-se a colheita nos dias 06/01/2015; 28/03/2015; 22/01/2016.

É importante frisar que a semente utilizada não passou por nenhum tratamento específico, sendo que os resultados obtidos não poderão ser cotejados com outros estudos agronômicos, mas somente de forma comparativa entre cada parcela plantada no presente experimento.

### Estudos mineralógicos

Realizou-se um sucinto estudo petrográfico constituído da análise de lâminas petrográficas de fosforito e de basalto. Além disso, realizaram-se estudos de difratometria de raios-X de amostra total com ângulo de leitura de 2° a 80° e fração argila, de 2° a 40°. Essas análises foram realizadas em difratômetro de Raios-X modelo Rigaku Ultima IV operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob voltagem de 35 kv e 15 mA, à velocidade de varredura de 5°/min.

### Fluorescência de raios-X

A técnica analítica nuclear de fluorescência de raios-X (XRF) é usada para a determinação quali-quantitativa da composição química em vários tipos de amostras de interesse agropecuário, agroindustrial, geológico e ambiental (Nascimento Filho, 1999).

No presente estudo a técnica utilizada foi por meio do espectrômetro ZSX Primus II de fluorescência de raios-X por dispersão por comprimento de onda (WD-XRF). Analisaram-se amostras na forma de pó prensado com um total de 22 óxidos e elementos, sendo eles: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, SO<sub>3</sub>, Sr, Rb, Ni, Cu, Zn, Zr, Cr, V, Co, Nb, Pb.

### Medição de pH em água e em KCl

Durante um ano, realizaram-se mensalmente análises de pH em H<sub>2</sub>O e em KCl com o objetivo de compreender o equilíbrio iônico nas misturas dos insumos remineralizadores. No procedimento adotado foi utilizada 1g de amostra de solo misturado em 5 ml de água destilada (pH em H<sub>2</sub>O) ou em solução de 0,0746 g/ml de KCl (pH em KCl). Essas soluções foram levadas ao agitador durante 30 minutos com posterior medição no equipamento multiparâmetro portátil.

Os dados foram agrupados de forma trimestral e os valores de variação do pH ( $\Delta\text{pH}$ ) e ponto de carga zero (PCZ) foram calculados pelas equações 1 (Mekaru & Uehara, 1972) e 2 (Keng & Uehara, 1974).

$$\Delta\text{pH} = \text{pH.KCl} - \text{pH.H}_2\text{O} \quad (1)$$

Sendo:  $\Delta\text{pH}$  - Variação do pH.

$$\text{PCZ} = 2\text{pH.KCl} - \text{pH.H}_2\text{O} \quad (2)$$

Sendo: PCZ – Potencial de carga zero.

### Elementos disponíveis

Os dados obtidos nesta etapa visavam avaliar a fertilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes disponíveis para as plantas. A análise constituiu essencialmente da medição dos elementos presentes no complexo sortivo ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ ), fósforo total e pH em água, por meio da metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). As amostras foram coletadas e levadas para a análise antes do primeiro plantio (11/11/2014) e após o último plantio (23/01/2016).

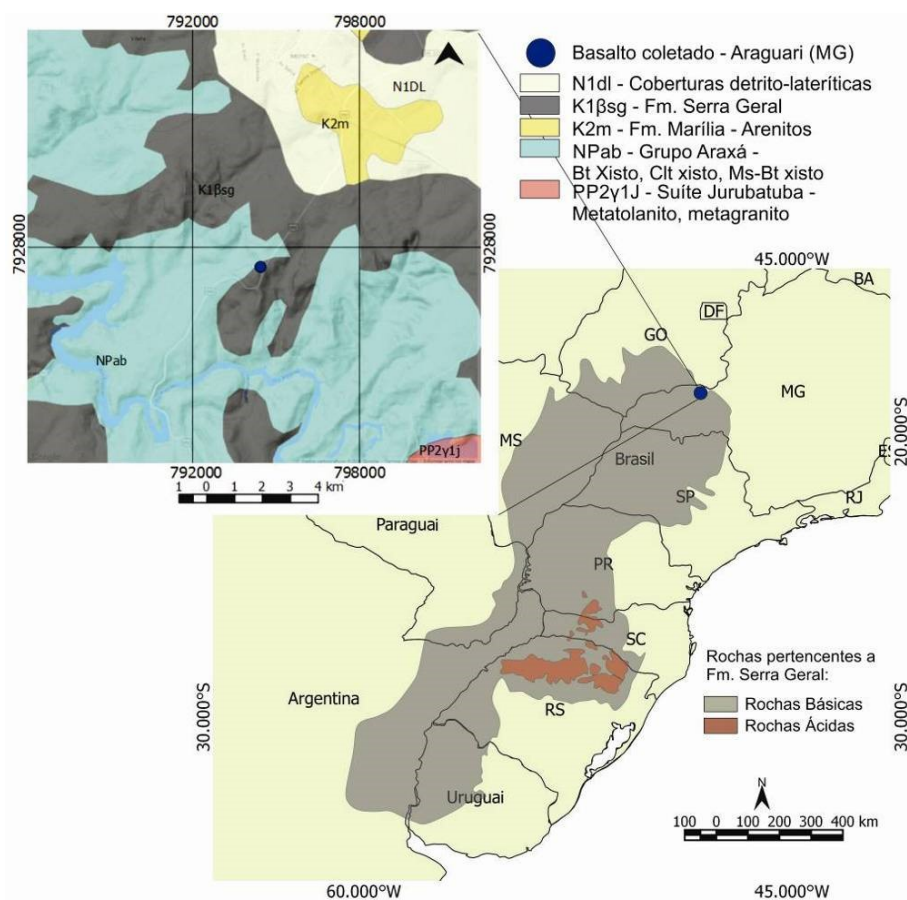
### Análise da área foliar

O método da área foliar permite compreender a relação existente entre o crescimento das plantas e o ambiente onde elas estão situadas (Jesus Júnior et al., 2001). Toebe et al. (2012) propuseram nove modelos de ajuste para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sendo que o ajuste mais adequado para este trabalho foi o que considera somente a largura do folíolo central:

$$\hat{Y} = -4,8376 + 1,8908L + 2,2027L^2 \quad (3)$$

Sendo:  $\hat{Y}$  - Área foliar; L - Largura do folíolo central.

Para a determinação da área foliar foram mensurados para cada parcela cinco folíolos centrais após 55 dias após a semeadura, no estágio de início de florescimento. O modo de escolha foi aleatório e houve medição para cada um dos três plantios nos dias: 06/01/2015; 28/03/2015; 22/01/2016. Isso possibilitou verificar diferenças de desenvolvimento em cada parcela plantada.



**Figura 1** - Distribuição das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral com predomínio de rochas basálticas. Em detalhe na borda esquerda superior, nota-se o ponto onde foi coletada a amostra próxima à cidade de Araguari (Modificada de Piccirillo & Melfi, 1988; Nardy et al., 2002; Machado, 2005; Machado et al., 2009; Sarmiento., 2013). Onde Bt = biotita, Clt = clorita e Ms = Muscovita.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Descrição pedológica

Os solos foram preliminarmente descritos por meio de uma trincheira onde se observou um Latossolo Vermelho distrófico com quatro horizontes (A, AB, BA e Bw).

A camada utilizada no experimento envolveu os horizontes A (5 cm) e AB (5-20 cm). O horizonte A apresentava cor marrom avermelhado (10R 6/3), textura argilo-arenosa, estrutura granular, dura, pouco friável, pouco pegajosa e plástica. O horizonte AB possuía cor marrom avermelhado (10R 6/3), textura muito argilosa, estrutura granular e raramente grumosa, moderadamente dura, pegajosa e plástica. A transição era abrupta e irregular. A análise granulométrica se deu após a homogeneização dos primeiros 20 centímetros com valor de 62,5% de argila, 20% de areia e 17,5% de silte.

A difratometria de raios-X deste solo antes de qualquer tipo de plantio e aplicação de insumo indicou a presença de gibbsita, goethita, caulinita, quartzo, ilita, anatásio, hematita e rutilo. A amostragem se deu após a homogeneização dos primeiros 20 cm (horizontes A e AB).

### Mineralogia das rochas basálticas

As rochas basálticas utilizadas no experimento foram extraídas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná que ocupa partes do território do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (Figura 1) (Machado, 2005; Milani et al., 2007). A Formação Serra Geral corta a seção sedimentar por meio de diques e forma múltiplos níveis de soleiras. Segundo Fodor et al. (1985) e Piccirillo et al. (1987) os corpos vulcânicos apresentam

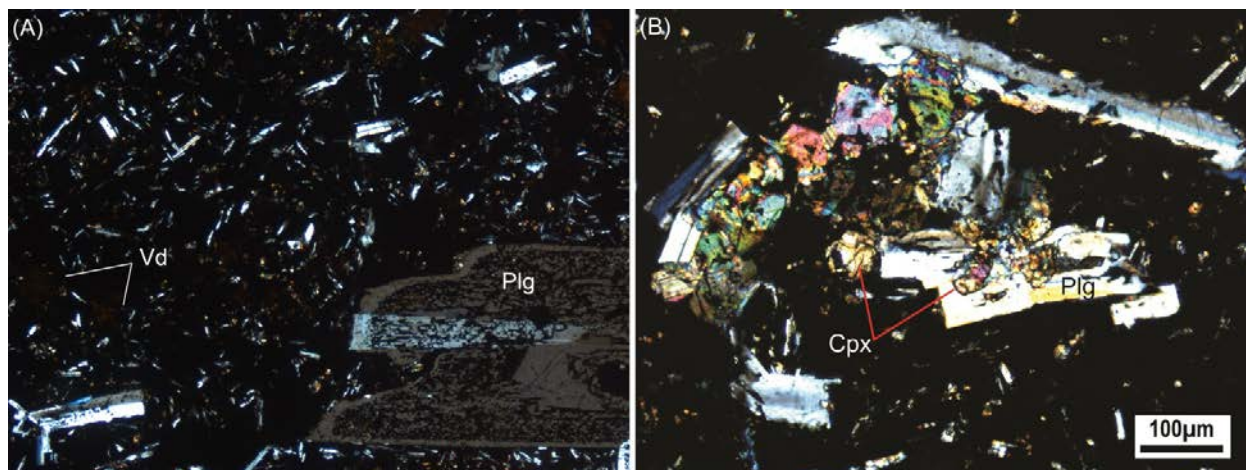
composição basáltica (90%), andesítica (7%), riodacítica e riolítica (3%).

Essa formação é de idade Juro-Cretácea quando a crosta terrestre foi submetida à acentuada extensão, associado ao magmatismo basáltico resultando no rompimento do megacontinente Gondwana. O vulcanismo prosseguiu até acumular mais de 1500 metros de espessura, que terminou devido ao ajuste isostático litosférico (Milani et al., 2007).

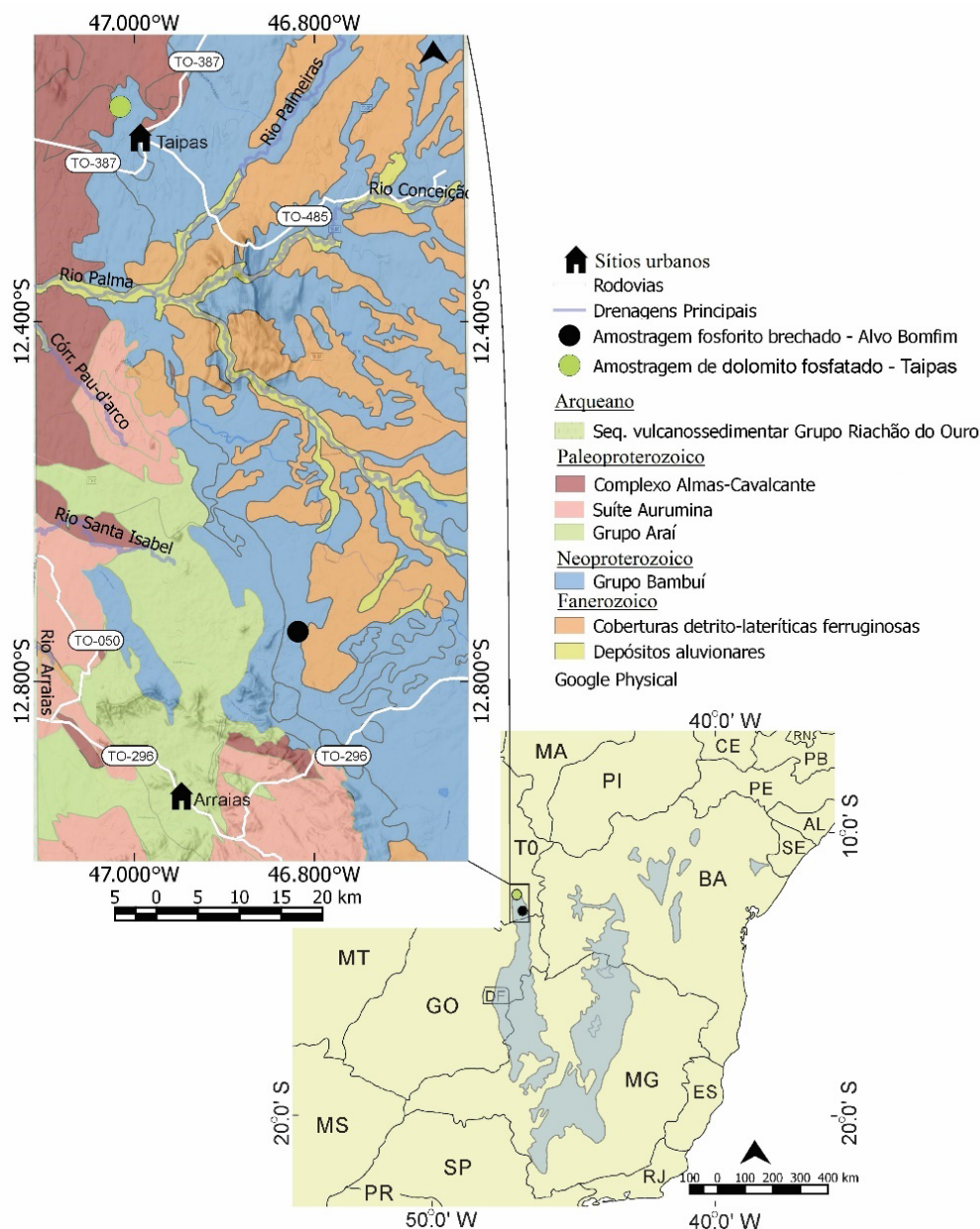
No presente estudo, em escala macroscópica, a rocha analisada foi classificada como um diabásio de matriz afanítica com presença de ripas de plagioclásio. Em lâmina petrográfica pode-se distinguir a seguinte mineralogia: plagioclásio, piroxênio (augita) e mesóstase (vítrea ou microgranular). Ainda possuía minerais opacos como a magnetita (3%) e a ilmenita (2%). O plagioclásio (45%) apresentava-se euédrico a subeuédrico, moderadamente alterado. Não apresentava uma orientação preferencial e estavam imersos numa matriz vítrea (textura hialofítica). Exibia mais raramente zonação e textura granofírica (Figura 2).

Ainda, existia nas terminações dos plagioclásios feições do tipo embaiamento, que estavam relacionadas com reações descontínuas entre o plagioclásio e o líquido magmático (Machado et al., 2009).

O clinopiroxênio do tipo augita (10%) estava bastante alterado, com elevada cor de interferência. Em algumas porções ele estava englobado por cristais euédricos e subhédracos ripiformes de plagioclásio, originando a textura intergranular (Figura 2).



**Figura 2** - (A) Fotomicrografia do diabásio evidenciado a textura hialofítica. Nota-se também a presença de zonação e de textura granofírica. (B) Detalhe da textura intergranular onde as ripas de plagioclásio englobam cristais de augita (Cpx). Onde Vd = vidro vulcânico, Plg = plagioclásio e Cpx = Clinopiroxênio (augita).



**Figura 3** - À direita, mapa evidenciando a ocorrência do Grupo Bambuí no Brasil (Adaptado de Dardenne 1979 e 2000). Na porção superior, mapa geológico simplificado da área englobando as cidades de Arraias e Taipas bem como os pontos onde foram coletados o fosforito brechado e o dolomito fosfatado (Adaptado de CPRM, 2013).

Por fim, a mesóstase ocupava a matriz da lâmina (40% do vol.) principalmente na forma vítrea. Encontrava-se também na forma microgranular com microcristais de plagioclásio e piroxênios (micrólitos). Essa elevada quantidade de mesóstase originou a textura do tipo hialofítica que foi caracterizada pela presença de matriz vítrea entre cristais de plagioclásio e piroxênio (Figura 2).

Análises de difratometria de raios-X reforçaram o estudo de lâmina petrográfica, com identificação de picos de augita, anortita, albita e vermiculita. Constatou-se a presença da vermiculita (mineral 2:1) que enfatiza que a amostra já apresentava certo grau de intemperismo, com minerais neoformados.

### Mineralogia das rochas fosfatadas

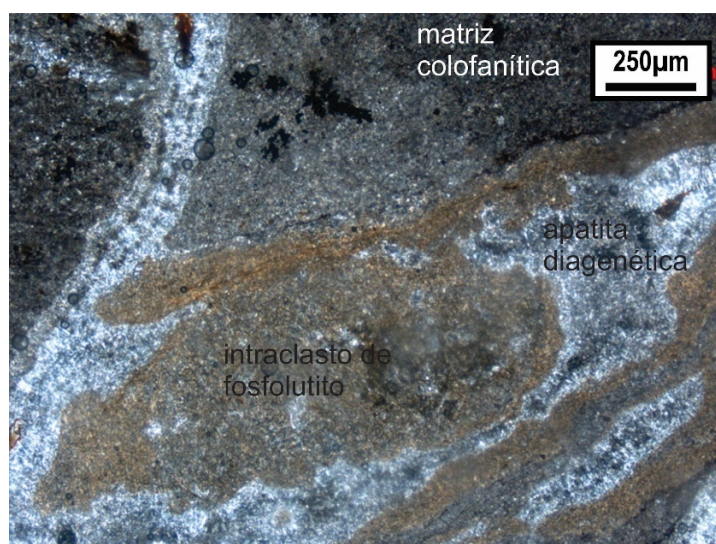
As rochas fosfatadas utilizadas no presente estudo são associadas à Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí (Figura 3) que é constituído por uma associação de litofácies siliciclásticas, químicas e bioquímicas, formadas pelo acúmulo de sedimentos depositados sobre uma extensiva plataforma epicontinental, onde o mar recobriu grande parte do paleocontinente São Francisco durante o término do Neoproterozoico (Alvarenga et al., 2006; Dardenne, 1979).

Os fosfatos presentes na Formação Sete Lagoas próximo à área de coleta das amostras foram interpretados como sendo depositados em paleocanais sobre os granitos do

embasamento (Monteiro, 2009). A lama colofanítica inicialmente forma as fácies primárias descritas como fosforitos finos laminados. Posteriormente, devido ao retrabalhamento destas rochas, formam-se as fácies de fosforitos brechados. De forma restrita, ocorrem fosforitos coluvionares

formados pelo retrabalhamento de fosforitos brechados a pequenas distâncias.

O fosforito utilizado era um fosforudito com intraclasto de fosfolutito em matriz colofanítica. Destacavam-se a presença de agulhas de apatita diagenética com alto grau de cristalinidade (Figura 4).



**Figura 4** - Fotomicrografia de fosforito brechado pertencente ao Alvo Bomfim, onde se visualiza o fosforudito com intraclasto de fosfolutito em matriz colofanítica. Notar também a presença de apatita diagenética com alto grau de cristalinidade.

A difratometria de raios-X indicou a presença de quartzo, fluorapatita e minerais do grupo dos filossilicatos como caulinita, muscovita e vermiculita. Isso indica que o processo intempérico foi moderado, pois existem ainda argilominerais com estrutura 2:1 e a presença da fluorapatita, oriunda provavelmente da transformação da estrutura original da francolita por meio de processos intempéricos, metamórficos e/ou diagenéticos (McClellan, 1980; Lima et al., 2007; Monteiro, 2009).

O dolomito fosfatado extraído na região de Taipas é classificado como dololutito fosfatado foliado de cor cinza esbranquiçada. Não é possível a distinção mineralógica em amostra de mão. Deste modo, realizou-se difratometria de raios-X que indicou a presença de calcita, dolomita, quartzo e ilita. Notar que não se encontrou minerais do grupo da apatita. Isso não significa a sua inexistência, somente que em baixas concentrações a difratometria de raios-X não é um método eficiente para identificação.

#### **Composição química do solo utilizado no experimento**

De um modo geral, o latossolo usado no

experimento apresentava um valor baixo de saturação por bases (V) de 27%, sendo classificado como distrófico, com saturação por alumínio medianamente prejudicial de 16% (Tabela 2). A capacidade de troca de cátions (CTC) de  $8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  é considerada média e o teor de matéria orgânica (MO) elevado (Osaki, 1991 e Sousa & Lobato, 2004).

Os insumos também foram submetidos a análises sob a mesma metodologia dos solos com o objetivo de verificar os elementos que estariam disponibilizados de forma mais eficiente para a planta com os seguintes resultados: V de 95%, 87% e 67% (respectivamente para basalto, dolomito e fosforito) e CTC de  $25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ,  $8,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  e  $7,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  (respectivamente para basalto, fosforito e dolomito) (Tabela 2).

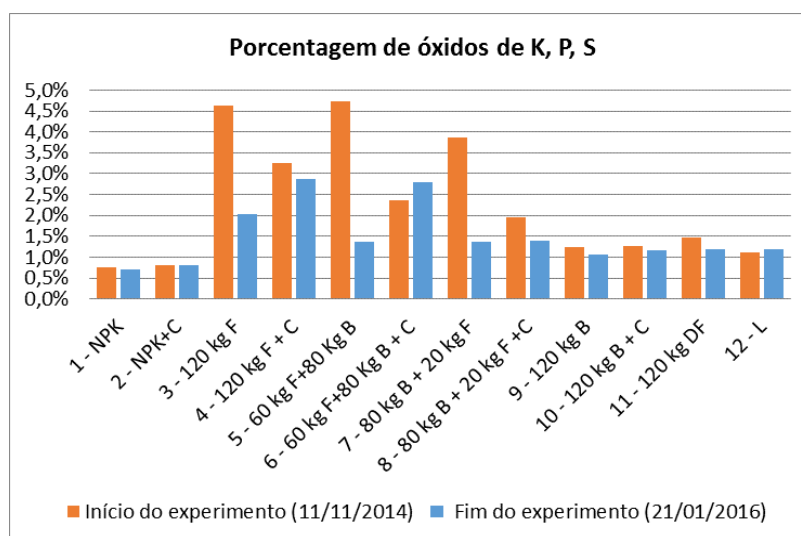
As análises de XRF antes do plantio das amostras de Latossolo (L), Basalto (B), fosforito (F), dolomito fosfatado (DF) e fertilizante solúvel (NPK) permitiram visualizar os elementos constituintes de cada material, especialmente na forma insolúvel. Nesta análise é fácil observar a correlação dos elementos presentes na Tabela 3 com a mineralogia anteriormente descrita.

**Tabela 2** - Análise padrão de solo para os materiais antes da aplicação no experimento. Amostras de Latossolo, basalto, fosforito brechado e dolomito fosfatado.

Tratamento	Complexo sortivo						Valor			Saturação		pH H <sub>2</sub> O	P. Disp. Mehlich	MO	C
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al +H	SB	CTC	V	Al	Na				
	cmol./dm <sup>3</sup>									%		mg/dm <sup>3</sup>	g/kg		
Latossolo	1,6	0,3	0,19	0,09	0,4	5,8	2,18	8,0	27,0	16,0	1,1	5,7	5,9	76,0	44,2
Basalto	16,4	3,0	0,45	3,9	0,0	1,3	23,75	25,0	95,0	0,0	15,6	8,6	655,0	4,6	2,7
Fosforito Brechado	4,3	1,1	0,06	0,12	0,0	2,7	5,58	8,0	67,0	0,0	1,4	6,1	7317	19,4	11,3
Dolomito fosfatado	4,7	1,8	0,05	0,01	0,7	1,0	6,56	7,6	87,0	9,0	0,1	8,2	134	5,0	2,9

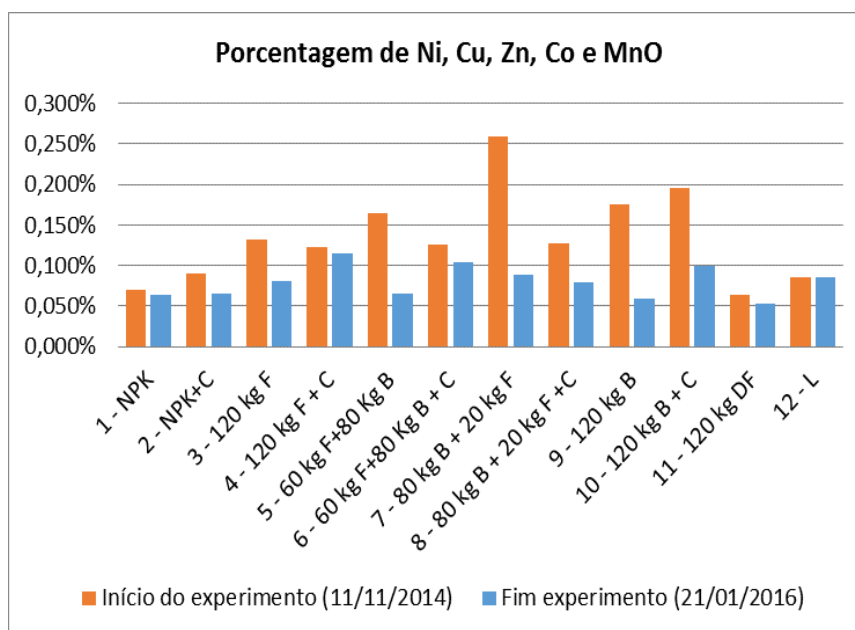
**Tabela 3** - Relação em porcentagem dos óxidos e elementos por meio de fluorescência de raios-X para: Latossolo antes do plantio (L), Basalto (B), Fosforito brechado (F), Dolomito fosfatado (DF) e fertilizante solúvel (NPK). Estas análises ocorreram antes do início do experimento. Vale lembrar que o teor de nitrogênio não foi calculado por esta técnica.

	RT - L	RT - B	RT - F	RT - DF	RT - NPK
SiO <sub>2</sub>	19,895%	42,772%	56,016%	9,108%	1,701%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49,058%	11,586%	13,865%	2,025%	0,724%
MgO	0,129%	4,489%	0,957%	20,836%	0,824%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,801%	23,153%	8,825%	3,516%	3,766%
CaO	0,077%	9,906%	9,723%	61,036%	24,518%
Na <sub>2</sub> O	0,017%	1,985%	0,029%	0,009%	0,812%
K <sub>2</sub> O	0,814%	1,159%	2,045%	0,597%	15,145%
TiO <sub>2</sub>	3,649%	3,981%	0,744%	0,151%	0,737%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,149%	0,379%	7,371%	2,454%	29,688%
MnO	0,053%	0,267%	0,272%	0,069%	0,305%
SO <sub>3</sub>	0,097%	0,044%	0,015%	0,121%	20,403%
Sr	0,0030%	0,0930%	0,0240%	0,0380%	0,4690%
Rb	0,0070%	0,0040%	0,0090%	0,0030%	0,0030%
Ni	0,0080%	0,0160%	0,0130%	0,0050%	0,0110%
Cu	0,0070%	0,0350%	0,0070%	0,0050%	0,0140%
Zn	0,0070%	0,0200%	0,0160%	0,0050%	0,6700%
Zr	0,1600%	0,0510%	0,0300%	0,0100%	0,1170%
Cr	0,0220%	0,0090%	0,0090%	0,0090%	0,0040%
V	0,0180%	0,0380%	0,0090%	0,0020%	0,0060%
Co	0,0010%	0,0080%	0,0040%	0,0000%	0,0080%
Nb	0,0100%	0,0030%	0,0010%	0,0000%	0,0590%
Pb	0,0090%	0,0010%	0,0180%	0,0020%	0,0150%
Total	99,9910%	99,9990%	100%	100%	99,9990%



**Figura 5** - Teores dos óxidos de K, P e S. Em vermelho estão os teores antes do plantio (11/11/2014) e em azul após um ano, dois meses e 12 dias (23/01/2016) logo após o último plantio. Nesta figura é notável que nas parcelas onde não se aplica calagem, os teores dos elementos apresentaram uma diminuição mais brusca que os com calagem. Este fato indica que a utilização de rochagem sem calagem pode disponibilizar e/ou lixiviar de forma mais rápida os nutrientes se comparado com as porções com rochagem e calagem.





**Figura 6** - Gráfico com alguns micronutrientes importantes para as plantas. Em vermelho estão os teores antes do plantio (11/11/2014) e em azul após um ano, dois meses e 12 dias (23/01/2016) logo após o último plantio. Notar que esta variação é menos acentuada nas parcelas onde houve o uso de calagem e rochagem se comparado com as parcelas com uso exclusivo de rochagem. Isto reforça a ideia de que a calagem pode diminuir a disponibilidade e/ou lixiviação de nutrientes liberados pelos pós de rocha.

### Geoquímica de fluorescência de raios-X no primeiro ano de plantio

A fluorescência de raios-X tem como finalidade a determinação de elementos na forma insolúvel. No presente estudo, analisaram-se amostras das doze parcelas antes do início do primeiro plantio (11/11/2014) e após a última colheita (23/01/2016) totalizando um período de um ano, dois meses e 12 dias com o intuito de comparar a quantidade de elementos disponíveis (Figura 5).

### Geoquímica de fertilidade do solo após um ano de plantio

Os dados de geoquímica de solo, para as doze parcelas analisadas depois de um ano de plantio, são apresentados na Tabela 4. Nota-se que o uso de insumos oriundos da rochagem, de maneira geral, aumentam a V, o pH, e o fósforo (P) disponível e ainda diminuem drasticamente a saturação por alumínio. Entretanto, os parâmetros MO e C tiveram seus teores reduzidos devido, provavelmente, ao consumo

**Tabela 4** - Análise de fertilidade do solo para as doze parcelas do experimento. C = Calagem; F = Fosforito; B = Basalto; DF = Dolomito fosfatado; L = Latossolo.

Tratamento	Complexo sortivo						Valor			Saturação		pH	P. Disp.	M.O	C
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al +H	S B	CTC	V	Al	Na				
	cmol./dm <sup>3</sup>									%		mg/dm <sup>3</sup>			
1. NPK	0,6	0,5	0,05	0,16	0,3	4,0	1,31	5,31	25	19	3	5,4	1,9	50,6	29,4
2. NPK + C	1,2	0,4	0,06	0,14	0,0	1,8	1,80	3,6	50	0	4	6,4	1,8	53,6	31,2
3. F(120kg)	1,0	0,4	0,06	0,20	0,0	3,0	1,66	4,66	36	0	4,4	5,9	4,8	49,6	28,8
4. F(120kg) + C	2,0	0,4	0,24	0,40	0,0	2,0	3,03	5,03	60	0	7,9	6,7	3,8	37,2	21,6
5. F(60kg) + B(80kg)	2,6	0,3	0,14	0,65	0,0	2,2	3,69	5,89	63	0	11	6,7	6,0	26,8	15,6
6. F(60kg) + B(80kg) + C	2,2	0,6	0,17	0,94	0,0	1,6	3,91	5,51	71	0	17,1	7,3	3,2	28,3	16,5
7. F(20kg) + B(80kg)	1,7	0,3	0,09	0,14	0,2	3,0	2,23	5,23	43	8	2,7	6,6	2,2	37,4	21,8
8. F(20kg) + B(80kg) + C	2,0	0,5	0,34	0,39	0,0	1,8	3,23	5,03	64	0	7,8	7,0	1,7	30,3	17,6
9. B(120kg)	2,1	0,8	0,09	0,28	0,0	1,9	3,27	5,17	63	0	5,4	7,0	1,7	38,4	22,3
10. B(120kg) + C	2,5	0,5	0,14	0,57	0,0	1,8	3,71	5,51	67	0	10,4	7,0	12,1	85,7	49,8
11. DF (120 kg)	2,1	0,9	0,09	0,23	0,0	1,6	3,32	4,92	68	0	4,7	7,1	1,0	72,8	42,3
12. L	0,7	0,6	0,13	0,16	0,2	4,6	1,59	6,19	26	11	2,5	5,6	3,2	57,9	33,7

pelo aumento da atividade microbiana como é apontado em diversos trabalhos como os de Azevedo et al. (1996), Ernani et al. (1996 e 1998) e Albuquerque et al. (2000).

Segundo Albuquerque et al. (2000), o teor de MO aumenta linearmente com o aumento das doses de calcário. No presente experimento nas parcelas 1 e 12, onde não se utilizaram insumos oriundos de rocha (calagem ou rochagem), apresentaram 1,18 vezes mais MO que nas demais parcelas (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11).

O Latossolo controle (Parcela 12) ao fim de um ano de análise, se comparado com o solo inicial, apresentou atributos semelhantes (Tabelas 2 e 4), sendo distrófico com V de 26% e pH levemente ácido de 5,6, saturação por alumínio relativamente baixa e teores de MO e C moderados, respectivamente de 57,9 g/kg e 33,7g/kg.

O uso de rochagem sem calagem (Parcelas 3, 5, 7, 9) proporcionou significativo acréscimo de V se comparado ao Latossolo controle, com variação de 36% a 63% e média de 51,25%. Esta média, em conjunto com um pH variando de 5,9 a 7, indicam caráter eutrófico e adequado a alto para solos típicos do cerrado (Sousa & Lobato, 2004; EMBRAPA, 2010). Neste caso, é interessante notar que o uso exclusivo de fosfato (Parcela 3) proporcionou valores mais baixos de V (36%), seguido pela mistura de basalto e fosfato (Parcela 7). Os maiores valores foram observados nas parcelas com uso exclusivo de basalto (Parcela 9) e com mistura de maior quantidade de fosfato com basalto (Parcela 5), ambos com 63%.

Com relação à saturação por alumínio, a única área que não apresentou valor nulo foi a com mistura de fosforito e basalto (Parcela 7), com valor de 8%, considerado baixo. Neste estudo, notou-se que os valores de MO (26,8 g/kg a 49,6 g/kg) e C (15,6 g/kg a 28,8 g/kg) diminuíram significativamente em relação ao Latossolo controle que exibe valores de MO e C, respectivamente, de 57,9 g/kg e 33,7 g/kg.

Por fim, analisando os macronutrientes Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e fósforo (P) disponíveis, notou-se que apenas o Mg e K não apresentaram teores significativamente mais elevados com a aplicação dos insumos remineralizadores. O Ca foi o elemento que aumentou de forma mais acentuada, variando de 1 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> a 2,6 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>. O caráter solódico foi verificado nas

parcelas 5 e 9, provavelmente devido ao intemperismo do basalto e liberação do sódio contido em minerais como piroxênio e plagioclásio. Já o P disponível teve leve aumento nas parcelas com o uso majoritário de fosforito (3 e 5), com valores de 4,8 mg/dm<sup>3</sup> e 6 mg/dm<sup>3</sup> os quais ainda são considerados de baixo a médio segundo Sousa & Lobato (2004).

A utilização de rochagem com calagem (Parcelas 4, 6, 8, 10) proporcionou resultados de fertilidade significativos, com pH variando de 6,7 a 7,3 e V de 60% a 71%, sendo considerados eutróficos e altos para solos típicos do cerrado (Sousa & Lobato, 2004 e EMBRAPA, 2010).

A saturação por alumínio foi nula em todas as parcelas. Já em relação ao sódio as parcelas 4, 8 e 10 apresentaram caráter solódico variando de 7,8% a 10,4%, enquanto que a parcela 6 apresentou caráter solódico (17,1%).

Ainda com relação aos macronutrientes, notou-se um significativo aumento de Ca<sup>+</sup> (2 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> a 2,5 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) e P disponível (1,7 mg/dm<sup>3</sup> a 12,1 mg/dm<sup>3</sup>) em comparação com o Latossolo controle. Já os valores de Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> não apresentaram elevação de modo significativo. Em relação ao P disponível é importante ressaltar que o maior valor foi encontrado no uso de basalto (Parcela 10) com valor de 12,1 mg/dm<sup>3</sup>. Já as demais parcelas, onde se aplicou doses variadas de fosforito, observaram-se teores de 1,7 mg/dm<sup>3</sup> a 3,8 mg/dm<sup>3</sup> os quais são relativamente mais baixos que a aplicação da rochagem sem calagem. Isto reforça a ideia de Ernani et al. (2001) que afirmam que o fosfato natural apresenta maior dissolução em condições de baixo pH.

O uso de dolomito fosfatado contribuiu de forma mais significativa apenas com os nutrientes Ca (2,1 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) e Mg (0,9 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) os quais são considerados adequados segundo Sousa & Lobato (2004). A saturação por alumínio foi nula e por sódio foi baixa (4,7%). O pH foi relativamente elevado (7,1) juntamente com a MO (72,8 g/kg). Ainda que o caráter eutrófico seja elevado (68%), isso se deve, essencialmente, pelos teores maiores de Ca e Mg. Já o P disponível e o K<sup>+</sup> apresentaram valores muito baixos, respectivamente, de 1 mg/dm<sup>3</sup> e 0,09 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> sendo inclusive menor que o do Latossolo controle.

O uso do fertilizante solúvel (NPK) sem calagem (Parcela 1) proporcionou os teores de nutrientes mais baixos em relação aos demais insumos aplicados. Apresentou, de modo geral, teores iguais ou piores ao Latossolo controle, com pH levemente ácido (5,4), caráter distrófico (25%) e a saturação por alumínio (19%) ainda que baixa, segundo Sousa & Lobato (2004), foi a mais elevada entre as parcelas. Estes dados indicam que o uso exclusivo de fertilizante solúvel, além de não apresentar efeito residual significativo necessita, incontestavelmente, do uso de calagem.

O fertilizante solúvel (NPK) com calagem (Parcela 2) proporcionou efeitos melhores ao solo se comparado com a parcela 1, devido principalmente ao acréscimo do pó de calcário, com elevação do pH e Ca, resultando em um solo eutrófico (50%). Esta parcela reforça a ideia do baixo efeito residual do NPK. Entretanto, deve-se ressaltar que o uso do fertilizante solúvel ocorreu em menor tonelage m que nos insumos oriundos da rochagem.

Ainda que valores de V tenham diminuído em relação ao material inicial (95% para o basalto, 67% para o fosforito brechado e 87% para o dolomito fosfatado), os teores médios

após um ano de todos os insumos de rochagem com e sem calagem e dolomito fosfatado, estiveram em um valor expressivo de 59,4%, caracterizando os solos como eutróficos. Isto reforça a ideia do efeito residual do uso de remineralizadores discutido na literatura por diversos autores como Brassioli et al. (2008), Bergsma et al. (2009), Martins et al. (2010) e Souza (2014).

### Comportamento eletrolítico

Os Latossolos, por apresentarem avançado estágio de intemperismo, possuem maior quantidade de cargas variáveis, as quais dependem do pH, do que de cargas permanentes, as quais são originadas da substituição isomórfica no processo de formação mineral (Bolland et al., 1976; Anda et al., 2008; Machado et al., 2013).

No presente estudo a média anual das medições do pH em H<sub>2</sub>O e em KCl estão sintetizadas na Tabela 5. Observou-se que o basalto juntamente com o dolomito fosfatado tiveram maior contribuição no controle do pH em comparação com o fosforito. Já o uso exclusivo do NPK se mostrou insignificante para regularizar o pH, sendo necessário o uso de calagem.

**Tabela 5** - Média anual do pH em H<sub>2</sub>O e KCl para as 12 parcelas estudadas. Notar que no âmbito da rochagem, o basalto (B) juntamente com o dolomito fosfatado (DF) tiveram maior importância no controle do pH em comparação com o fosforito (F). Por fim, o uso exclusivo do NPK se mostrou insignificante para regularizar o pH, sendo necessário o uso de calagem (C).

Parcelas	Média Anual	
	pH em H <sub>2</sub> O	pH em KCl
NPK	5,34	4,58
NPK+C	6,24	5,87
120 kg F	5,84	5,12
120 kg F+C	6,24	5,86
60 kg F+80 Kg B	6,14	5,15
60 kg F+80 Kg B + C	6,40	6,12
80 kg B + 20 kg F	6,43	4,97
80 kg B + 20 kg F+C	6,38	5,76
120 kg B	6,25	5,26
120 kg B + C	6,31	5,79
120 kg DF	6,72	6,58
Latossolo	5,70	4,63

**Tabela 6** - Dados indicando a variação do delta pH ( $\Delta$ pH) e do ponto de carga zero (PCZ) ao longo de quatro trimestres.

Período do ano (trimestral)	1 <sup>a</sup>		2 <sup>a</sup>		3 <sup>a</sup>		4 <sup>a</sup>		Média anual	
	$\Delta$ pH	PCZ	$\Delta$ pH	PCZ	$\Delta$ pH	PCZ	$\Delta$ pH	PCZ	$\Delta$ pH	PCZ
Roch. S/ calagem	-0,97	4,42	-0,91	4,05	-0,93	3,92	-1,34	3,95	-1,04	4,09
Roch. C/ calagem	-0,52	5,26	-0,52	4,84	-0,49	5,59	-0,27	6,03	-0,45	5,43
NPK S/ Calagem	-1,01	3,79	-0,52	3,85	-0,47	4,04	-1,06	3,57	-0,77	3,81
NPK C/ Calagem	-0,34	5,28	-0,30	4,88	-0,40	5,80	-0,43	6,03	-0,37	5,50
Latossolo	-1,94	2,91	-0,46	4,28	-0,74	3,61	-1,15	3,41	-1,07	3,55
Dolomito fosfatado	-0,13	6,44	-0,17	6,00	-0,11	6,67	-0,15	6,66	-0,14	6,44

Para facilitar o estudo, as análises trimestrais de ΔpH e PCZ foram agrupadas em seis grupos visualizados na Tabela 6 onde se observa: Rochagem sem calagem (Parcelas 3, 5, 7, 9); Rochagem com calagem; (Parcelas 4, 6, 8, 10); NPK sem Calagem (Parcela 1); NPK com Calagem (Parcela 2); Latossolo (Parcela 12) e Dolomito fosfatado (Parcela 11).

Os valores de ΔpH foram sempre negativos, indicando que a carga líquida é negativa para todos os tratamentos, o que favoreceu o aumento da CTC. O ponto de carga zero (PCZ) do Latossolo de 3,55 está nos limites obtidos por Magalhães & Page (1984) em Latossolos (3,6 a 4,6).

Ainda que a calagem seja um importante fator no aumento da PCZ (5,43 a 5,50), o uso exclusivo de dolomito fosfatado teve grande poder de aumento do potencial (6,44). Já o uso exclusivo de remineralizador, aumentou de maneira mais suave esses valores (4,09). Vale lembrar que o Latossolo controle e o NPK sem calagem apresentaram os menores valores, respectivamente, de 3,55 e 3,81.

Os valores mais elevados de PCZ devem-se, provavelmente, a diminuição dos teores de matéria orgânica (aumento da atividade microbiana) e a adsorção específica de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  os quais incorporam cargas positivas às superfícies sólidas do solo, diminuindo com isso a carga líquida negativa (Charlet & Sposito, 1989 e Albuquerque et al., 2000). A

redução da matéria orgânica ocasiona a diminuição do número de grupos carboxílicos, que são os principais responsáveis pelas cargas negativas da MO (Schnitzer, 1986) e a diminuição na adsorção específica de ânions orgânicos (Oades et al., 1989).

Por fim, como os valores de ΔpH se aproximam mais de zero (Tabela 6), significa que houve um maior equilíbrio entre cargas negativas e positivas, diminuindo a atividade de cargas negativas na solução do solo (Raj & Peech, 1972; Tavares Filho et al., 2010 e Machado et al., 2013).

### Análise mineralógica do experimento durante um ano

O estudo da análise mineralógica baseou-se na verificação durante um ano da difratometria de raios-X em três etapas com o intuito de averiguar os minerais adicionados e/ou neoformados. O resultado das análises encontra-se resumido na Tabela 7.

Com estes dados é possível notar que as rochas fosfatadas adicionaram ao solo principalmente fluorapatita, como também montmorilonita e/ou vermiculita. O uso de basalto proporcionou uma mineralogia mais complexa, com a introdução de minerais como albita, augita, anortita, vermiculita e/ou montmorilonita. Essa mineralogia complexa é muito importante, pois indica uma possível

**Tabela 7** - Mineralogia presente nas parcelas. Observar que a mineralogia é mais complexa nas porções onde foram acrescentados pó de basalto. Onde: C = Calagem, F = Fosforito, B = Basalto, DF = Dolomito Fosfatado, L = Latossolo.

Mineralogia		Parc. 1	Parc. 2	Parc. 3	Parc. 4	Parc. 5	Parc. 6	Parc. 7	Parc. 8	Parc. 9	Parc. 10	Parc. 11	Parc. 12
		NPK	NPK + C	F(120kg)	F(120kg) + C	F(60kg) + B(80kg)	F(60kg) + B(80kg) + C	F(20kg) + B(80kg)	F(20kg) + B(80kg) + C	B(120kg)	B(120kg) + C	DF (120 kg)	L
Minerais comuns em Latossolos	Gibbsita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Quartzo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Caulinita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Rutilo	X	X	X	X								X
	Hematita						X	X	X	X	X	X	X
	Goethita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ilita		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Anatásio				X								
Minerais adicionados pela rochagem	Fluorapatita			X	X	X	X	X	X				
	Montmorilonita				X			X			X		
	Vermiculita					X	X		X	X			
	Anortita						X	X	X	X	X		
	Augita						X	X	X	X	X		
	Albita							X	X	X	X		
Dolomita								X			X		

muito importante, pois indica uma possível disponibilização de uma gama variada de macro e micronutrientes, além disso, com o passar dos anos é provável a neoformação de minerais do tipo 2:1. Por fim vale ressaltar que o uso do dolomito fosfatado somente indicou a adição de dolomita ao sistema.

### Avaliação da área foliar

As medidas de área foliar são conhecidas na literatura como um parâmetro indicativo de produtividade e ainda pode relacionar desenvolvimento das plantas com ambiente ao seu redor (Leong 1980; Jesus Júnior et al., 2001; Favarin et al. 2002).

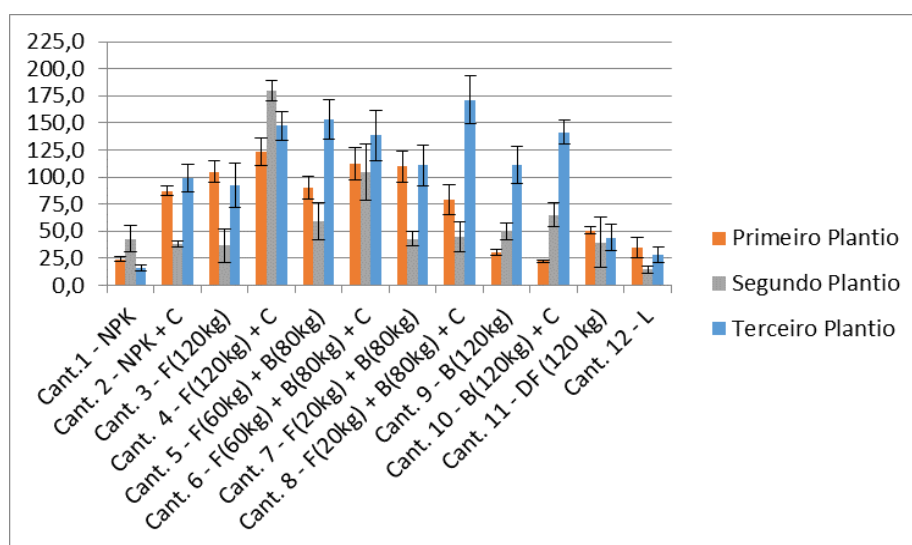
A figura 7 apresenta um histograma com a área foliar das doze parcelas nos três plantios analisados. Com esses dados, é possível observar que as parcelas com rochagem (com ou sem calagem) apresentaram, de maneira geral, valores de área foliar superiores ao Latossolo controle (Parcela 12) e aos fertilizantes solúveis (Parcelas 1 e 3).

Ainda, se comparado às parcelas do primeiro plantio com as do último (período de 1 ano e 16 dias), nota-se um aumento significativo na área foliar das plantas tratadas somente com remineralizadores (Parcelas 3 a 11). Isso poderia estar relacionado com um significativo efeito residual, o qual é compatível com o estudo de Souza (2014) que afirma que os efeitos residuais em agrominerais são expressivos em comparação com as fontes solúveis.

Mais especificamente, nota-se que nos três plantios realizados, o uso do fosforito apresenta os maiores valores de área foliar especialmente quando misturado com calagem como é visualizado no histograma da Figura 7 (Parcelas de 3 a 8). Já o uso exclusivo do basalto, apresentou um aumento mais expressivo de área foliar somente no último plantio, ressaltando a ideia de efeito residual (Parcelas 9 e 10).

Vale ainda ressaltar a relativa baixo desenvolvimento foliar do uso do dolomito fosfatado (Parcela 11) e do NPK sem calagem (Parcela 1), os quais exibem resultados sistematicamente baixos no decorrer dos três plantios. Isto ocorre, pois o dolomito não oferece quantidade significativa de outros macronutrientes além de Mg e Ca, já o NPK sem calagem ainda que possa apresentar os nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta, não possui pH adequado. Estes dois insumos apresentam resultados superiores somente ao do Latossolo controle (Parcela 12) (Figura 7).

Por fim, vale salientar que o uso da calagem é de fundamental importância para o aumento da área foliar (Figura 7). Isso é inferido, pois nas parcelas em que houve calagem e rochagem (Parcelas 4, 6, 8 e 10) apresentaram valores para o primeiro, segundo e terceiro plantio, respectivamente de 1,005; 2,089 e 1,280 vezes maiores que nas parcelas somente com calagem (Parcelas 3; 5; 7 e 9).



**Figura 7** - Média de área foliar dos três plantios com 5 medidas do folíolo central para cada parcela. Notar que no terceiro plantio há um aumento da área foliar se comparado com os plantios anteriores, especialmente onde foram aplicados insumos de fosforito e basalto. As parcelas com NPK com e sem calagem, dolomito fosfatado e Latossolo controle, apresentaram medidas de área foliar mais baixas e constantes ao longo dos três plantios. Além disso, nota-se que as porções com calagem apresentam área foliar maiores que as sem calagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados permitem inferir que o uso de remineralizadores resulta em um significativo aumento das substâncias e parâmetros físico-químicos responsáveis pela fertilidade dos solos, bem como de um melhor desenvolvimento da área foliar, além de apresentar um importante efeito residual. Esses efeitos positivos estão em acordo com diversos estudos como Waigwa et al. (2003); Almeida et al. (2007) e Husnain et al. (2014).

Do ponto de vista da geoquímica de fertilidade do solo os remineralizadores podem disponibilizar de forma rápida os macronutrientes necessários para as plantas já no primeiro ano de plantio, isto é evidenciado pelos teores de V que continuam significativos ao final desse período. Este pensamento está de acordo com os estudos de Chesworth et al. (1983) e Souza (2014). Entretanto, trabalhos como os Gillman (1980) e Gillman et al. (2002) apresentam conclusões que indicam uma disponibilização lenta dos nutrientes.

Dados de fluorescência de raios-X mostram que o uso da rochagem sem calagem apresenta uma diminuição de 2,4 vezes nos teores dos

óxidos K, P e S. Esta diminuição é bem mais acentuada quando se compara com as parcelas de rochagem com calagem que foram de apenas 1,12 vezes. Isso significa que a disponibilidade e/ou lixiviação dos nutrientes é maior quando não se aplica rocha carbonática para a correção do pH.

Os dados mineralógicos mostram que o uso de rochas fosfatadas e basálticas apresentam minerais que podem ser fontes importantes de macronutrientes como P, Na, Ca e Mg além de apresentar minerais com estrutura 2:1.

Quanto à análise da área foliar, percebe-se que o uso da calagem é importante para o maior desenvolvimento das plantas, indicando que a rochagem por si só, não produziria resultados muito satisfatórios, devido a sua elevada tonelagem e a seu moderado desenvolvimento foliar. Contudo, quando utilizado juntamente com calagem apresenta resultados superiores até ao fertilizante solúvel com correção de pH. Possivelmente, isso se deve ao melhor equilíbrio iônico quando aplicado a calagem, deslocando o  $\Delta pH$  para valores próximos de zero.

## AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem aos editores e revisores da Revista Geociências pelas importantes contribuições durante o processo de submissão e análise do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, n. 1, p. 295-300, 2000.
- ALMEIDA E.; SILVA F.J.P; RALISCH R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. **Agriculturas**, v. 4, n. 1, p. 7-10, 2007.
- ALVARENGA, C.J.S.; BOTELHO, N.F.; DARDENNE, M.A.; LIMA, O.N.B.; MACHADO, M.A. **Nota Explicativa da Folha SD.23-V-C-V (Cavalcante). Escala 1:100.000**. Goiás, UnB/CPRM, 76p., 2006.
- ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C.I.; OMAR, S.R.S. Mineralogy and factors controlling charge development of three oxisols developed from different parent materials. **Geoderma**, v. 143, n. 1, p.153-167, 2008.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **Water Quality for Agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1994. (Serie: FAO Irrigation and Drainage Papers - 29) Disponível em <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.htm>. Acessado em: 30nov2016.
- AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 20, n.1, p. 191-198, 1996.
- BERGSMAN H.L.T.; CAMPOS DOS SANTOS A.T.; CARPAY E.A.P.M. Introducing stone meal in the Netherlands. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**, p. 55-65, 2009.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 625 p., 2006.
- BERTOSSI, A.P.A.; NEVES, M.A.; CARDOSO, M.S.N.; PRADO, A.C.A.; DAMASCENO, C.A.; POLIDORO, J.C. Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de rochas ornamentais silicáticas na qualidade do solo e da água. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 31, n. 2, p. 185-195, 2012.
- BOLLAND, M.D.A.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Surface charge on kaolinite in aqueous suspension. **Australian Journal of Soil Research**, v. 14, n. 1, p. 197-216, 1976.
- BRASSIOLI, F.B.; PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Avaliação agrônômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p.381-387, 2009.
- CASEY W.H. & BUNKER B. **Leaching of mineral and glass surfaces during dissolution**. In: Hochella M.F. Jr. & White A.F. (Coordenadores). **Mineral-Water Interface Geochemistry**. Washington, Mineral. Soc. Amer., V. 23, p. 397-425, 1990.
- CHARLET, L. & SPOSITO, G. Bivalent ion adsorption by an Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 3, p. 691-595, 1989.
- CHESWORTH, W.; MAGIAS-VASQUEZ, F.; ACQUAYE, D.; THOMSON, E. Agricultural alchemy: stones into bread. **Episodes**, v.1, n.1, p. 3-7, 1983.

- CHESWORTH, W.; VAN STRAATEN, P.; SEMOKA, J.; MCHIHAYO, E. Agrogeology in Tanzania. **Episodes**, v. 8, n.1, p. 257-258, 1985.
- CHIEN, S.H. & MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v. 41, n. 3, p. 227-234, 1995.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica folha SD.23-V-A Arraias. Escala 1:250.000** - Programa geologia do Brasil. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2013.
- DARDENNE, M.A. **Les minéralisations plomb-zinc du Groupe Bambuí et leur contexte géologique**. Paris, 1979. 251 p. (Thèse Doc. Université Pierre et Marie Curie) Université Pierre et Marie Curie.
- DARDENNE, M.A. **The Brasília Fold Belt**. In CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Coordenadores), **Tectonic Evolution of South America**, 31 Int. Geol. Congress, Rio de Janeiro, Brazil, p. 231-264, 2000.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 26 p., 2010.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do Feijoeiro Comum**. Embrapa Arroz e Feijão Sistemas de Produção. Versão eletrônica, ISSN 1679-8869, n. 2, 2003.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 212 p., 1997.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produção de Sementes Sadias de Feijão Comum em Várzeas Tropicais**. Embrapa Arroz e Feijão Sistemas de Produção. Versão eletrônica. ISSN 1679-8869, n.4, 2004.
- ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.A.R.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J.A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 20, n.1, p. 159-162, 1996.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 22, n. 2, p. 275-280, 1998.
- ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, n.1, p. 939-946, 2001.
- FAVARIN, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.
- FODOR, R.V.; CORWIN, C.; ROISENBURG, A. Petrology of Serra Geral (Paraná) continental flood basalts, southern Brazil crustal contamination, source material, and South Atlantic magmatism. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 91, n. 1, p. 54-65, 1985.
- GILLMAN, G.P. The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 3, p. 465-468, 1980.
- GILLMAN, G.P.; BURKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **Applied Geochemistry**, v. 17, n.8, p. 987-1001, 2002.
- HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: A geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 1-36, 2000.
- HUSNAINA; ROCHAYATIA, S.; SUTRIADIA, T.; NASSIRB, A.; SARWANIC, M. Improvement of Soil Fertility and Crop Production through Direct Application of Phosphate rock on Maize in Indonesia. **SYMPHOS** 2013, v. 83, n. 1, p. 336-343, 2014.
- JESUS JÚNIOR, W.C.; VALE, F.X.R.; COELHO, R.R.; COSTA, L.C. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n.5, p. 989-991, 2001.
- KENG, J.C.W. & UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proceedings of Soil Crop Science Society of Florida**, v. 33, n. 1, p. 119-126, 1974.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976. Belo Horizonte, **Resumos...**, 1976, p. 137-145.
- LEONG, W. **Canopy modification and its effects on the growth and yield of Hevea brasiliensis**. Bélgica, 1980. 283 p. Tese (Doutorado em ecologia). Faculty of Agriculture Sciences of Ghent.
- LIMA, O.N.B.; UHLEIN, A.; BRITTO W. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n.4, p. 204-215, 2007.
- MACHADO, A.T.S.; BERTAGNA, F.A.B.; SANTOS, P.; FIGUEIREDO, R.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTAS, A.C.S. Cargas superficiais de um Latossolo após aplicação de adubos orgânicos, inorgânicos e resíduos industriais. In: Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, 8, 2013. Centro Universitário Cesumar Editora CESUMAR Maringá – **Resumos expandidos**, Paraná – Brasil, 2013, p.1-5.
- MACHADO, F.B. **Geologia e aspectos petrológicos das rochas intrusivas e efusivas mesozóicas de parte da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo**. Rio Claro, 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista.
- MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; ROCHA JUNIOR, E.R.V.; MARQUES, L.S.; OLIVEIRA, M.A.F. Geologia e litogeoquímica da Formação Serra Geral nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Revista Geociências**, v. 28, n. 4, p. 523-400, 2009.
- MAGALHÃES, A.F. & PAGE, A.L. Características das cargas elétricas dos solos da zona da Mata de Pernambuco. Determinação das cargas de superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 8, n.2, p. 173-177, 1984.
- MARTINS, E.S.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA, C.G.; FURTINI NETO, A.E. **Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos**. In: FERNANDES, F.R.C.; ADÃO B.L.; ZULEICA C.C (coordenadores). **Agrominerais para o Brasil**. RJ. CETEM/MCT. Capítulo V, p. 89-99, 2010.
- MCCLELLAN, G.H. Mineralogy of carbonate fluorapatites. **J. Geol. Soc.**, v. 137, n. 3, p. 675-681, 1980.
- MEKARU, T. & UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, n. 1, p. 296-300, 1972.
- MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. In: MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; PESSOA NETO, O.C (Coordenadores.). **Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 265-287, 2007.
- MONTEIRO, C.F. **Fosforitos do Grupo Bambuí na região de Campos Belos (GO) / Arraias (TO), na borda oeste do Cráton São Francisco**. Brasília, 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado em Prospecção e Geologia Econômica). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

- NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra geral. **Geociências**, v. 21, n. 1-2, p. 13-30, 2002.
- NASCIMENTO FILHO, V.F. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)**. Depto de Ciências Exatas/ESALQ Lab. de Instrumentação Nuclear/CENA, 19 p., 1999.
- NIWAS, J.M.; DISSANAYAKE, C.B.; KEERTHISHINGHE, G. Rocks as fertilizers: Preliminary studies on potassium availability of some common rocks in Sri Lanka. **Applied Geochemistry**, v. 2, n. 2, p. 243-246, 1987.
- OADES, J.M.; GILLMAN, G.P.; UEHARA, G. **Interactions of soil organic matter and variable charge clays**. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (coordenadores) Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu, University of Hawaii, p. 69-95, 1989.
- OSAKI, F. **Calagem e adubação**. 2. ed. Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola. Campinas, 503p., 1991.
- PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects**. São Paulo, Brasil: IAG-USP, 600 p., 1988.
- PICCIRILLO, E.M.; RAPOSO, M.I.B.; MELFI, A.J.; COMINCHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. Bimodal fissural volcanic suites from the Paraná Basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and geochemistry. **Geochimica Brasiliensis**, v. 1, n.1, p. 53-69, 1987.
- RAIJ, B.; VAN & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, n. 4, p.587-593, 1972.
- SARMENTO, C.C.T. **Geologia e petrologia das rochas hipabissais associadas à Formação Serra Geral na região de Cerro Coronel, Rs**. Porto Alegre, 2013. Dissertação (Mestrado em Geociências) - UFRGS.
- SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, (Coordenadores). **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison, Soil Science Society of American, p. 77-101, 1986.
- SHIKI, S.; SILVA, J.G.; ORTEGA, A.C. **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**. Uberlândia Gráfica da UFU: Universidade Federal de Uberlândia, 372 p., 1997.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 414 p., 2004.
- SOUZA, F.N.S. **O potencial de agrominerais silicáticas como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. Brasília, 2014. 144 p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Water-dispersible clay in soil treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.5, p. 1527-1534, 2010.
- TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LOOSE, L.H.; HELDWEIN, A.B.; ZANON, A.J. Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris L.*) em função de dimensões foliares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2491-2500, 2012.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 4 p.731-747, 2006.
- WAIGWA M.W., OTHIENO C.O., OKALEBO J.R. Phosphorus availability as affected by the application of phosphate rock combined with organic materials to acid soils in western Kenya. **Experimental Agriculture**, v. 39, n. 1, p. 395-407, 2003.

*Manuscrito recebido em 6 de junho de 2016  
Revisado e aceito em 31 de abril de 2017*