

PEDRO HENRIQUE DE CASTRO BORGES

**SISTEMATIZAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS E EFEITOS DA ADUBAÇÃO  
VERDE E DA GRANULOMETRIA DE PÓS DE ROCHAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, *campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal  
de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

B732s  
2017  
Borges, Pedro Henrique de Castro, 1991-  
Sistematização de experiências e efeitos da adubação verde  
e da granulometria de pós de rochas / Pedro Henrique de Castro  
Borges. – Rio Paranaíba, MG, 2017.  
vi, 42f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: André Mundstock Xavier de Carvalho.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Basalto. 2. Fonolito. 3. Remineralizadores.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências  
Agrárias. Mestrado em Agronomia - Produção vegetal. II. Título.

631.874

PEDRO HENRIQUE DE CASTRO BORGES

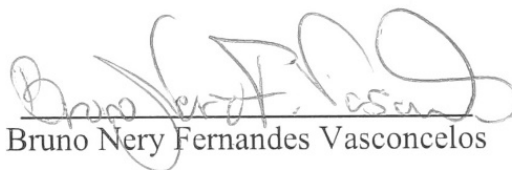
**SISTEMATIZAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS E EFEITOS DA ADUBAÇÃO  
VERDE E DA GRANULOMETRIA DE PÓS DE ROCHAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, *campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de fevereiro de 2017



Leonardo Angelo de Aquino



Bruno Nery Fernandes Vasconcelos



André Mundstock Xavier de Carvalho  
(Orientador)

*À minha amada esposa Sarah,  
por todo amor e motivação.*

*Aos meus pais Gilmar e Maria Marta,  
pela vida que me privilegiaram*

*À minha prima, madrinha e mãe, Juliana  
pela presença e dedicação.*

*Ao meu amigo e orientador André,  
pela influência e inspiração.*

*Ao Senhor Jesus,  
pelo amor incondicional*

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro de parte deste trabalho (APQ-03816-16).

À Universidade Federal de Viçosa, *campus* Rio Paranaíba, e servidores desta instituição, por proporcionarem uma formação de qualidade a todos nós, estudantes, e que mesmo em tempos de crise, sempre estiveram presentes para nos auxiliar.

Ao professor André Mundstock Xavier de Carvalho, amigo e orientador, por exercer com excelência sua profissão, muito além de sua obrigação. O meu sincero reconhecimento de que tudo o que fizemos enquanto estudantes e colegas, será muito pouco para retribuir o que faz em prol da difusão do conhecimento e da ciência pura e sem máscaras. Levarei comigo o seu comprometimento e ética no trabalho, sempre me orgulhando da oportunidade que tive de ser seu orientado. Valeu a pena todas as horas de “café filosófico” na cantina do CRP nos tempos de graduação; as viagens; os sermões...enfim, tenho uma dívida eterna com você.

Ao professor Marlon Corrêa Pereira, amigo e orientador, por me ensinar a dar os “primeiros passos” como pesquisador e a definir prioridades. Seus conselhos e recomendações, ainda que simples, foram essenciais em tudo que tive que escolher durante a vida acadêmica.

Às minhas queridas famílias Castro e Borges, que sempre se esforçaram em dar-me o de melhor, lutaram as minhas batalhas e me ensinaram a viver de forma simples e sincera.

À família da minha querida esposa, por fazerem a minha vida um pouco mais feliz e louca. Vocês realmente não são deste mundo!

Aos meus amigos, por dividirem os fardos comigo. Sem vocês a vida seria um peso sobre os ombros, um deserto sem alento, seria...um negócio muito chato e sem sentido (risos).

À minha bela Sarah, esposa incomparável. Serei eternamente grato pela oportunidade de te conhecer, te amar e de sermos uma família. Não esquecendo é claro, no contexto desta dissertação, dos auxílios mil!!! Você é a melhor companheira de laboratório que alguém poderia ter. Sorte a minha, que a tenho em tempo integral.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

## ÍNDICE

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
CAPÍTULO 1 - SISTEMATIZAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DE AGRICULTORES	
FAMILIARES COM PÓ DE BASALTO .....	7
RESUMO .....	7
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
CONCLUSÕES.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
CAPÍTULO 2 - DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE PÓS DE ROCHAS VIA	
ADUBAÇÃO VERDE DE INVERNO.....	17
RESUMO .....	17
INTRODUÇÃO.....	18
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
RESULTADOS .....	24
DISCUSSÃO.....	26
CONCLUSÕES.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28
CAPÍTULO 3 - CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E DISPONIBILIZAÇÃO DE SILÍCIO,	
POTÁSSIO E SÓDIO POR DIFERENTES DOSES E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE	
FONOLITO.....	31
RESUMO .....	31
INTRODUÇÃO.....	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	33
RESULTADOS .....	34
DISCUSSÃO.....	37
CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
CONCLUSÕES GERAIS .....	42

## RESUMO

BORGES, Pedro Henrique de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Sistematização de experiências e efeitos da adubação verde e da granulometria de pós de rochas.** Orientador: André Mundstock Xavier de Carvalho. Coorientador: Marlon Correa Pereira.

O uso de pós de rochas silicatadas, ou remineralizadores, como fontes de nutrientes à agricultura, tem sido motivado no Brasil por razões econômicas, ambientais e tecnológicas. Com o objetivo de melhor compreender as potencialidades do manejo da adubação com pós de rochas silicatadas, foram realizados os estudos do presente trabalho, estruturado em três capítulos. No primeiro capítulo a estratégia metodológica utilizada foi a sistematização de conhecimentos de agricultores, da região centro-sul do Paraná, relacionados a utilização do pó de basalto. No segundo capítulo buscou-se avaliar o efeito do manejo antecipado e com adubos verdes na disponibilização de elementos presentes no pó de microgabro. Para tal dois experimentos a campo foram conduzidos com aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> do pó de microgabro e, ou, dacito, de forma antecipada na semeadura de adubos verdes. No terceiro capítulo buscou-se avaliar a correção da acidez e a disponibilização de K, Na e Si no solo, por diferentes doses e frações granulométricas do fonolito. Dois experimentos de incubação foram conduzidos, um sob Latossolo e outro sob Neossolo, utilizando três frações granulométricas e cinco doses de fonolito. A sistematização das experiências dos agricultores revelou que os pós de rochas apresentam benefícios ligados à fitossanidade, produtividade e vigor de plantas. Revelaram ainda potenciais de utilização no manejo de esterco e na alimentação animal. Os experimentos à campo evidenciaram que o microgabro pode elevar a produtividade do feijão e que o manejo antecipado com adubos verdes pode promover uma maior liberação de Ca em relação ao manejo não antecipado. Por fim, os experimentos sob condições de incubação mostraram que a granulometria do fonolito afeta a capacidade de correção da acidez e de disponibilização de elementos. Em geral, a forma de pó fino apresentou um desempenho superior à forma granulada, mas os resultados com o fonolito granulado foram promissores.

## ABSTRACT

BORGES, Pedro Henrique de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Systematization of experiences and effects of green manure and granulometry of rock powder.** Advisor: André Mundstock Xavier de Carvalho. Co-advisor: Marlon Correa Pereira

The use of powders of silicate rocks, or remineralizers, as sources of nutrients for agriculture, has been motivated in Brazil for economic, environmental and technological reasons. In order to better understand the potentialities of the management of fertilization with silicate rock powders, the present study was structured in three chapters. In the first chapter the methodological strategy used was the systematization of knowledge of farmers, from the central-southern region of Paraná, related to the use of basalt powder. In the second chapter we tried to evaluate the effect of the early management and with green fertilizers in the availability of elements present in the microgabro powder. For this two experiments in the field, a participatory and a conventional one were conducted with application of 3 t ha<sup>-1</sup> of the microgabro powder and, or, dacito, in advance in the sowing of green fertilizers. In the third chapter we tried to evaluate the acidity correction and the availability of K, Na and Si in the soil, by different rate and granulometric fractions. Two incubated experiments were conducted, one in Latossolo and the other in Neossolo, using three particle sizes and five rates of phonolite. The systematization of farmers' experiences revealed that rock powders have benefits related to plant health and productivity. They also revealed potentials for use in manure management and feed. Field experiments have shown that microgabro can increase bean productivity and that early management with green manures can promote a greater release of Ca in relation to unanticipated management. Finally, the experiments by incubation conditions showed that the size of the phonolite affects the ability of acidity correction and the availability of elements. In general, the fine powder form performed better than the granulated form, but the results with the granulated phonolite were promising.

## INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por fertilizantes tem fomentado pesquisas voltadas para o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem uma melhor utilização destes insumos na agricultura. O tema tem se tornado um desafio para o Brasil, não somente por questões tecnológicas, mas também, econômicas e ambientais.

Além dos já conhecidos problemas ambientais relacionados à produção e ao uso intensivo dos fertilizantes de alta solubilidade, como desestruturação do solo (Oliveira et al., 2012), eutrofização de águas e poluição atmosférica com gases de efeito estufa (Tilman et al., 2001), a grande utilização destes insumos agrava a situação de alta dependência externa e vulnerabilidade econômica do país, uma vez que a produção interna de fertilizantes é muito inferior ao consumo. No ano de 2009 a importação referente aos elementos N, P e K aplicados na agricultura foi de 75, 50 e 90% respectivamente, e atualmente, 70% das fontes fertilizantes são importadas (Marin et al., 2016; Rodrigues et al., 2010). Tais fatos apontam a necessidade de se buscar novas alternativas para o manejo da fertilidade dos solos e nutrição de plantas.

O termo rochagem refere-se à utilização do pó de uma rocha, mais comumente de rochas silicatadas, e aplicação direta deste nas atividades agropecuárias. O processo de obtenção é estritamente físico, empregando apenas a moagem da rocha *in natura*. A rochagem possibilita ainda o reaproveitamento de resíduos, como rejeitos de pedreiras e de outras atividades de mineração, para produção do pó, o que possibilita um menor custo no processo de obtenção do insumo e criação de novos mercados.

Apesar de ser uma prática antiga (Leake, 1950), os pós de rochas silicatadas foram incluídos apenas recentemente na legislação brasileira dos fertilizantes, pela lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que enquadra este insumo na classe dos remineralizadores de solo.

O cátion mais abundante numa rocha silicatada é o silício (Si). Esse elemento, ainda que não seja essencial, apresenta funções diversas no metabolismo da planta, relacionadas à indução de resistência ao ataque de pragas e doenças, por meio da ativação de genes responsáveis pelos mecanismos de defesa da planta. Além disso, a deposição de Si nas folhas confere uma resistência mecânica à planta,

reduzindo injúrias causadas por artrópodes herbívoros (Santos et al., 2014; Anjos et al., 2014; Reynolds et al., 2009).

O uso de pós de rochas silicatadas disponibiliza ânions silicato no solo, os quais atuam na correção da acidez do solo e podem competir pelos sítios de adsorção de fosfatos, aumentando a disponibilidade de P na solução do solo (Tokura et al., 2011). Além disso, pós de rochas silicatadas apresentam potencial de aumento da CTC do solo, uma vez que o intemperismo destes materiais resulta na formação de argilominerais que dão origem a cargas negativas. Por ter a granulometria de um pó, está mais susceptível ao intemperismo quando comparado aos processos naturais de formação de cargas do solo (Anda et al., 2013).

Rochas silicatadas ainda apresentam teores de elementos que são de outros interesses, que não estão diretamente ligados à nutrição de plantas. A presença de elementos como Se, Co, V, La, Li e I na composição química dessas rochas é de grande interesse nutricional, uma vez que esses não são comumente aplicados na agricultura, entretanto são essenciais ou benéficos a nutrição humana e animal (Graham et al., 2007).

Outro aspecto importante do uso de pó de rochas silicatadas como fonte de nutrientes está relacionado ao segmento dos orgânicos. A agricultura orgânica é um seguimento produtivo em grande expansão, com taxa média de crescimento de 45% ao ano, e que em 2013 apresentava uma área cultivada no mundo de 43 milhões de hectares (Arbenz et al., 2015). Os sistemas orgânicos de produção têm restrições quanto à utilização de insumos, principalmente em relação ao uso de fertilizantes de alta solubilidade. No Brasil, segundo a Lei dos Orgânicos (Lei 10.831/03), a maioria dos fertilizantes de alta solubilidade é de uso restrito ou não é permitido nesse sistema, o que ressalta a importância de fontes alternativas às convencionais.

As principais desvantagens do uso de pó de rochas silicatadas na agricultura são relacionadas à baixa concentração de elementos e à baixa reatividade das fontes. Por apresentarem baixos teores de nutrientes são necessárias altas quantidades do insumo para atender as exigências nutricionais da maioria das culturas agrícolas. Tal limitação torna o mercado deste insumo restrito, pelos custos relacionados ao transporte do material, a regiões próximas ao local de produção do insumo, assim como acontece na comercialização do calcário e do gesso agrícola. Por outro lado, essa limitação estimula os arranjos produtivos locais (APLs), que são uma tendência mundial de mercado, por serem menos dispendiosas em custos e energia,

beneficiarem o desenvolvimento regional, além de descentralizar o mercado de insumos (Costa, 2010).

Por apresentarem baixa solubilidade e reatividade, os efeitos dos pós de rochas silicatadas ocorrem, de forma geral, de médio a longo prazo. Algumas características influenciam a reatividade e liberação dos elementos das fontes, sendo as principais: composição química e mineralógica da rocha e granulometria do pó.

Apesar da granulometria em pó aumentar a reatividade da fonte, é um fator limitante para a tecnologia de aplicação, principalmente para fertilização concentrada em linha e incorporada. O processo de intemperismo, bem como a liberação de elementos, pode ser acelerado pela remoção de produtos solúveis das fontes. Agentes biológicos como microrganismos e vegetais, extraem e absorvem esses produtos e os utilizam em seus metabolismos (Carvalho, 2012; Harley & Gilkes, 2000). Neste aspecto, a utilização de plantas de cobertura ou adubos verdes tem sido recomendada como parte das estratégias de manejo para aumento da disponibilidade de elementos à cultura de interesse, principalmente em função dos exsudados radiculares liberados pelas plantas que aceleram a solubilização de nutrientes (Keuskamp et al., 2015; Magalhães et al., 1991).

Além de aumentar o potencial de liberação de elementos dessas fontes, o manejo com adubos verdes é uma alternativa em substituição ao pousio, principalmente em regiões de clima temperado, onde o inverno impossibilita o cultivo de grande parte das culturas agrícolas anuais. A presença do adubo verde aumenta a ciclagem de nutrientes, reduz a lixiviação de elementos e favorece maior aporte de matéria orgânica, o que melhora a qualidade do solo e beneficia os cultivos de verão.

O mercado de pó de rochas silicatadas ainda carece de investimentos e produtos. Atualmente apenas poucos materiais são encontrados para o consumo, destacando-se os pós de basaltos e outras rochas associadas da formação Serra Geral e o fonolito do maciço de Poços de Caldas.

Uma melhor perspectiva, sobre a prática da rochagem no Brasil, pode ser adquirida por meio da sistematização de experiências de produtores rurais. No processo de sistematização, reúne-se o maior número de informações possíveis sobre um determinado tema, com base nas experiências vivenciadas pelos agentes envolvidos. Essas informações são processadas por meio de reflexões, buscando

sempre pontos convergentes, para que estas possam gerar novos conhecimentos (Chavez-Tafur, 2007). A frequência das constatações indica a confiabilidade das informações, e assim como a experimentação clássica, a sistematização é uma ferramenta para gerar conhecimentos válidos, bem como para levantar demandas de pesquisa, pela diversidade de perspectivas agregadas ao processo.

Desta forma, o trabalho teve como objetivo compreender melhor as potencialidades do manejo da adubação com pós de rochas silicatadas. Os objetivos específicos deste trabalho, base para estruturação do mesmo em três capítulos, foram: sistematizar experiências e conhecimentos sobre o uso de pó de basalto nas atividades agropecuárias por agricultores familiares da região centro-sul do Paraná (Capítulo 1); avaliar o efeito do manejo antecipado e com adubos verdes na disponibilização de elementos presentes no pó de microgabro (Capítulo 2); e avaliar a correção da acidez e a disponibilização de K, Na e Si no solo, por diferentes doses e frações granulométricas do fonolito (Capítulo 3).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I. Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. **Soil and Tillage Research**, v.132, p.1-11, 2013.

ANJOS, T. V.; TEBALDI, N. D.; MOTA, L. C. B. M.; COELHO, L. Fontes de silício no controle da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, v.40, p.365-367, 2014.

ARBENZ, M.; WILLER, H.; LERNOUD, J.; HUBER, B.; AMARJIT, S. The World of Organic Agriculture—Statistics and Emerging Trends (Session at the BIOFACH 2015). 2015

CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico**. 2012. 116p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

CHAVEZ-TAFUR, J. Aprender com a prática: uma metodologia para sistematização de experiências. Brasil: AS-PTA, 2007.

COSTA, E. J. M. Arranjos Produtivos Locais, Políticas Públicas e Desenvolvimento Regional. Brasília: Mais Gráfica Editora, 2010. 210p.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p.1-74, 2007.

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, p.11-36, 2000.

KEUSKAMP, D. H.; KIMBER, R.; BINDRABAN, P.; DIMKPA, C.; SCHENKEVELD, W. D. C. Plant exudates for nutrient uptake. *VFRC Report*, 4, 2015.

LEAKE, H. M. Soil rejuvenation in Mauritius. *International Sugar Journal*, 52: 117-118, 1950.

MAGALHÃES, J. C. A. J.; VIEIRA, R. F.; PEREIRA, J.; PERES, J. Efeito da adubação verde na disponibilidade de fósforo de fosfatos, numa sucessão de culturas, em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15: 329-337, 1991.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016.

OLIVEIRA, F. P. D.; BUARQUE, D. C.; VIERO, A. C.; MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. Vol. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v.155, p. 171-186, 2009.

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.

SANTOS, G. R.; RODRIGUES, A. C.; BONIFACIO, A.; JUNIOR, A. F. C.; TSCHOEKE, P. H. Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, p.403-408, 2014.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W. H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, 292: 281-284, 2001.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOIVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.33, p.171-179, 2011.

## CAPÍTULO 1

### SISTEMATIZAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DE AGRICULTORES FAMILIARES COM PÓ DE BASALTO

#### RESUMO

O uso de pós de rochas silicatadas é uma alternativa às demandas agrícolas por fontes de nutrientes e condicionadores de solos. Entretanto é uma técnica que ainda demanda pesquisas para obter recomendações mais precisas e para uma melhor compreensão sobre a dinâmica de liberação de seus nutrientes. O objetivo deste trabalho foi sistematizar experiências e conhecimentos sobre o uso de pó de basalto nas atividades agropecuárias por agricultores familiares da região centro-sul do Paraná. O processo de sistematização envolveu produtores rurais com experiência igual ou superior a cinco anos com pó de basalto. A estratégia metodológica permitiu o levantamento de um grande número de informações, sendo muitas ainda não disponíveis na literatura científica. A sistematização evidenciou, com base nos pontos mais comumente relatados que a aplicação do pó de basalto favorece o manejo fitossanitário e aumenta a produtividade e o vigor das plantas. Além disso, os agricultores frequentemente relataram que há benefícios à saúde de bovinos, caprinos e frangos quando o pó de basalto é inserido em pequenas quantidades na alimentação animal.

**Palavras-chave:** rochagem; agroecologia; pesquisa participativa

#### INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas aos fertilizantes convencionais no Brasil tem incentivado o crescimento da rochagem no país. Esta prática consiste na aplicação

de pó de rochas silicatadas nas atividades agrícolas, a fim de fornecer nutrientes às plantas e melhorar as características químicas dos solos.

Os remineralizadores, como são classificados os pós de rochas silicatadas, já eram reconhecidos como fonte de nutrientes, pela lei nº 6.894, de janeiro de 1980. Entretanto, foi nos últimos anos que ocorreu a regulamentação da fiscalização, produção e comercialização destes como insumos agrícolas, pela Lei dos Remineralizadores, nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013.

Segundo Silva et al. (2015), o manejo da fertilidade do solo, através da rochagem, vem sendo adotado por agricultores das regiões do centro-sul do Paraná e planalto norte catarinense. Parcerias envolvendo secretarias municipais, a Emater-PR, escolas, universidades e cooperativas, têm feito com que a prática da rochagem seja disseminada rapidamente na região. Além disso, ONG's como a AS-PTA, que assessora agricultores familiares desde 1993, tem incentivado projetos de pesquisa para aprofundar o conhecimento dos agricultores sobre a rochagem.

Novas perspectivas e potencialidades da prática da rochagem podem ser construídas e acessadas por meio da sistematização de experiências, numa concepção que rompe a ideia dominante de que apenas a ciência gera conhecimentos válidos para os agricultores. A sistematização consiste em um processo de pesquisa descritiva, de abordagem qualitativa, que se desenvolve através da coleta de informações originadas de experiências dos agentes envolvidos e da observação participante, seguida de uma análise crítica e reflexiva das experiências (Chavez-Tafur, 2007; Laville & Dionne, 2008). A sistematização almeja ainda reunir informações e percepções que, comumente, estão dispersas ou não chegam a ser registradas (Diez-Hurtado, 2001; Chavez-Tafur, 2007).

No processo de sistematização, reúne-se o maior número de informações possíveis sobre um determinado tema, com base nas experiências vivenciadas pelos agentes envolvidos. Essas informações são processadas por meio de reflexões, buscando sempre pontos convergentes, para que estas possam gerar novos conhecimentos válidos (Chavez-Tafur, 2007). A frequência das constatações indica a confiabilidade das informações, e assim como a experimentação clássica, a sistematização é uma ferramenta para gerar conhecimentos válidos, bem como para levantar demandas de pesquisa, pela diversidade de perspectivas agregadas ao processo.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi sistematizar conhecimentos de agricultores da região centro-sul do Paraná sobre o uso de pó de basalto.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A sistematização das experiências foi realizada com agricultores e pecuaristas da região centro-sul do Paraná, dos municípios de São João do Triunfo, Paula Freitas, Palmeira, Porto União e em Irineópolis, sendo estes dois últimos, municípios do estado de Santa Catarina. O critério para seleção de agricultores e pecuaristas foi a disponibilidade dos mesmos em participar do processo de sistematização e o tempo de experiência do produtor com o uso do pó de basalto, sendo estipulado um período mínimo de vivência de cinco anos. A abordagem e seleção dos agricultores foram feitas em parceria com a ASPTA-PR (Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa).

Doze produtores rurais participaram do estudo, sendo a maioria agricultores familiares, que desenvolvem atividades diversificadas dentro das propriedades. A definição do número de agricultores participantes envolveu, além da aleatoriedade, o critério da saturação dos conteúdos, ou seja, a situação de repetição das informações acerca das variáveis necessárias definiu o fim da pesquisa. As propriedades dos agricultores são áreas sob rochas sedimentares da Série Tubarão.

A sistematização seguiu, como diretriz geral, a metodologia proposta por Chavez-Tafur (2007) a qual é composta pelos seguintes passos: (i) definição do ponto de partida; (ii) delimitação; (iii) descrição da experiência; (iv) análise; e (v) apresentação dos resultados (Tabela 1).

Para coleta de dados foram realizadas pesquisas semi-estruturadas para obter informações específicas, bem como relatos pertinentes ao tema. Os apontamentos foram feitos por meio de notas, preenchimento de questionários e gravações de áudio. A análise das experiências foi realizada por meio de reflexões, buscando a interação dos agentes envolvidos no projeto.

**Tabela 1.** Descrição das etapas do processo de sistematização

Etapa	Descrição	Agentes envolvidos
Definição do ponto de partida	Designar pessoas e suas funções a serem desenvolvidas no processo; estabelecer os prazos; discriminar informações conhecidas e a serem buscadas; definir os objetivos e resultados esperados.	Pesquisadores e técnicos da ASPTA-PR
Delimitação	Selecionar pontos específicos (linhas de ação) que serão importantes e pertinentes ao objetivo lançado.	Pesquisadores
Descrição da experiência	Obter os relatos de experiências; descrever tudo o que foi feito no processo de sistematização, tanto resultados esperados quanto os não esperados, bem como se as metas foram ou não alcançadas.	Pesquisadores, produtores e técnicos da ASPTA-PR
Análise	Síntese e avaliação crítica das experiências, práticas realizadas e objetivos alcançados. Serão expostas opiniões e perspectivas dos envolvidos de modo reflexivo sobre todo o processo, para gerar novos conhecimentos.	Pesquisadores, técnicos da ASPTA-PR e produtores rurais
Apresentação dos resultados	Redação ou edição das informações e análises efetuadas visando o registro e a divulgação dos conhecimentos gerados.	Pesquisadores

Fonte: Adaptado de Chavez-Tafur (2007)

Na região centro-sul do Paraná, o “pó de basalto” utilizado pela maioria dos agricultores é fornecido pela empresa Ekosolos, localizada no município de Paula Freitas – PR. Este material apresenta uma composição química diversificada e é produzido a partir da mistura de duas rochas: microgabro e latito (dacito). A granulometria deste produto é menor que 1 mm, sendo 80% menor que 0,7 mm (Tabela 2).

**Tabela 2.** Composição química do basalto utilizado pelos produtores da região centro-sul do Paraná

Elementos principais	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
Microgabro <sup>1</sup>	51,13	13,99	13,48	10,79	6,70	0,51	2,10	0,12	0,19

<sup>1</sup>Pedreira Luzia, Paula Freitas - PR. Fonte: Ekosolos. Teores totais expressos em equivalente óxido, obtidos por Fluorescência de Raios-X.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de sistematização apontou um claro potencial de uso do pó de basalto, não somente na agricultura, mas também, na pecuária. As experiências relatadas estão frequentemente relacionadas ao aumento da produtividade e à melhoria nos aspectos fitossanitários das culturas. Muitos agricultores também utilizam o pó de basalto na substituição parcial do calcário para fins de correção da acidez do solo. Resultados relacionados ao aumento de pelos em caprinos, à redução da incidência de parasitas animais, como carrapatos, amenização do odor de fezes bovinas, maior resistência e quantidade de ovos de galinhas, foram também constatações comuns, embora menos frequentes, entre os agricultores participantes que utilizam pequenas quantidades de pó de basalto na alimentação animal (Tabela 3).

Quando a aplicação do pó de basalto é via solo, os produtores utilizam em média uma dose de 2 t ha<sup>-1</sup> por ano. Além da aplicação via solo, os produtores relataram a prática de adicionar o insumo no preparo de fertilizantes foliares, compostos orgânicos e junto à ração de aves, caprinos e suplementação de sais minerais aos bovinos. Neste último caso, utilizam uma formulação equivalente a 30 kg de pó de basalto, 1 kg de enxofre, 30 kg de fosfato bicálcico e 20 kg de sal branco.

As principais culturas agrícolas cultivadas pelos produtores, em que se faz a aplicação do pó de basalto no manejo são: soja, feijão, milho, erva-mate, hortaliças e fruteiras em geral, além de algumas plantas ornamentais e na produção de mudas e cultivo de fumo.

**Tabela 3.** Resultados obtidos no processo de sistematização

<b>Aplicação</b>	
-Via solo: aplicação em área total, sulco de plantio e misturas em vermicomposto, esterco, ureia, substratos de horta e outros compostos orgânicos. Dose: ~ 2 t ha <sup>-1</sup> .	-Via foliar: aplicação direta do pó de basalto sobre as plantas, misturas em biofertilizantes e caldas. Dose em misturas: 15 a 50 g L <sup>-1</sup> -Alimentação animal: não muito frequente, embora verificado em dietas de bovinos, caprinos e frangos.
<b>Resultados esperados relatados</b>	
-Redução do ataque de pragas em plantas -Redução na incidência e severidade de doenças em plantas -Aumento na produtividade e vigor de plantas	-Correção do pH do solo -Maior crescimento da parte aérea e raízes de mudas, plantas cultivadas e pastagens
<b>Resultados não esperados relatados</b>	
-Redução do parasitismo de carrapatos em bovinos -Redução do mau cheiro de fezes bovinas	-Maior crescimento de pelos em caprinos -Aumento da quantidade, resistência de ovos de galinhas e redução do canibalismo.

Os efeitos do uso de alguns pós de rochas silicatadas, como o basalto, já estão sendo estudados há algum tempo (Silva et al., 2008) e, por esse motivo, alguns resultados já eram esperados. A adição de silício (Si), tanto na nutrição das plantas como na deposição apenas na superfície foliar, tem sido a principal relação sobre redução do ataque de pragas, incidência e severidade de doenças em vegetais. Esse elemento, ainda que não seja essencial, apresenta funções diversas no metabolismo da planta, relacionadas à indução de resistência, por meio da ativação de genes responsáveis pelos mecanismos de defesa da planta. Além disso, a deposição de Si nas folhas confere uma resistência mecânica à planta, reduzindo injúrias causadas por artrópodes herbívoros (Santos et al., 2014; Anjos et al., 2014; Reynolds et al., 2009).

Vários trabalhos têm demonstrado o potencial de liberação de nutrientes do pó de basalto, como P, K, Ca, Mg e outros micronutrientes no solo, os quais são essenciais no metabolismo das plantas (Martins et al., 2015; Melo et al., 2012). Em consequência dessa liberação, a aplicação do pó de basalto tem sido significativa no aumento de produtividade e vigor de plantas (Shamshuddin e Anda, 2012; Silva et al., 2008).

Por outro lado, alguns resultados demonstram potenciais, pouco ou não conhecidos, do uso de pós de rochas silicatadas, como na alimentação de bovinos. O principal composto responsável pelo mau cheiro das fezes bovinas é a amônia. Uma hipótese explicativa para a redução do odor pode ser a formação de argilominerais a partir dos minerais primários do basalto ao longo do processo digestivo dos animais alimentados com sal mineral enriquecido com pó de rocha. Esses minerais apresentam alta densidade de cargas e estruturas que podem interagir com o amônio, impedindo que este se converta em amônia e volatilize. Campana et al. (2015) demonstrou que o uso de zeólitas junto a ureia, por exemplo, reduz perdas de nitrogênio por volatilização de amônia.

As várias formas de aplicação do pó de basalto relatadas pelos agricultores evidenciam que os agricultores não estão limitados apenas à recomendação técnica deste remineralizador. Tal fato, constatado pela própria empresa fornecedora deste insumo, que recomenda a aplicação via solo em área total e sulco de plantio de culturas, ilustra a importância da participação do agricultor no desenvolvimento de novas tecnologias e geração de conhecimentos válidos. Várias formas de aplicação e utilização do pó de basalto foram desenvolvidas pelos próprios agricultores, através de experiências, observações e experimentações nas atividades agrícolas. Destas práticas, pode-se citar a aplicação do pó de basalto via foliar, direta ou em misturas, como a mais recorrente entre os produtores. A inserção do pó de basalto na alimentação animal, na maioria dos relatos, foi iniciativa também dos produtores, que começaram este tipo de utilização através da observação de que os animais se alimentavam diretamente do pó armazenado nos galpões das propriedades ou apresentavam preferência por plantas e talhões fertilizados com o pó de basalto.

O desenvolvimento de novas práticas agrícolas, no contexto dos produtores que participaram deste processo de sistematização, deve-se também a influência de projetos conduzidos pela ASPTA-PR, como o “Agricultoras e Agricultores Experimentadores”, que incentivam a agricultura familiar fundamentada nos princípios da agroecologia e da participação dos agricultores no processo de construção do conhecimento.

A obtenção do pó de basalto é a partir de subprodutos de atividades mineradoras, o que reduz o custo, uma vez que o processamento do resíduo ao pó comercializável é basicamente feito por remoagem e tamisação. Entretanto, algumas limitações de mercado podem ser observadas na comercialização e

consumo do pó de basalto. Além do custo de aquisição do insumo ser relativamente alto, sendo vendido a R\$ 150,00 a tonelada, despesas com o transporte do insumo limitam comercialização a um raio de ~300 km, que ainda é a única fornecedora do insumo na região em que foi feita a sistematização. Fato relatado pela empresa, que apesar de haver demandas de outras regiões do Paraná e até outros estados como Minas Gerais, Mato Grosso e São Paulo, não efetua a comercialização do produto, por tais limitações.

Por outro lado, a restrição de comercialização qualifica o pó de basalto como um insumo que favorece o desenvolvimento de arranjos produtivos locais (APLs), promovendo o desenvolvimento regional e descentralização do mercado de insumos agrícolas, que no cenário atual, está sob domínio de empresas multinacionais. Outra limitação relatada pelos agricultores familiares foi a dificuldade na liberação de financiamento agrícola pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), visto que os remineralizados foram regularizados para comercialização apenas no ano de 2013.

Embora a sistematização seja uma técnica importante para gerar conhecimentos, apresenta limitações relacionadas a relativização das informações levantadas no processo de sistematização. Muitos resultados observados podem estar fortemente relacionados às expectativas dos observadores, o que dificulta a real compreensão dos fenômenos, principalmente os que envolvem fatores variados e complexos.

## **CONCLUSÕES**

Na perspectiva dos agricultores envolvidos no processo de sistematização, a aplicação do pó de basalto aumenta a produtividade das culturas agrícolas, favorece o manejo fitossanitário e melhora os atributos químicos do solo. Também, quando utilizada na alimentação animal, apresenta potencial em reduzir o ataque de carrapatos e maus odores nas fezes dos bovinos, aumentar a resistência e quantidade de ovos de galinhas e proporcionar outras melhorias associadas à saúde animal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, T.V.; TEBALDI, N.D.; MOTA, L.C.B.M.; COELHO, L. Fontes de silício no controle da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, v.40, p.365-367, 2014.

CAMPANA, M.; ALVES, A. C.; ANCHÃO DE OLIVEIRA, P. P.; DE CAMPOS BERNARDI, A. C.; SANTOS, E. A.; HERLING, V. R.; MORAIS, J. P. G.; BARIONI, W. Ammonia Volatilization from Exposed Soil and Tanzania Grass Pasture Fertilized with Urea and Zeolite Mixture. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n. 8, p. 1024-1033, 2015.

CHAVEZ-TAFUR, J. Aprender com a prática: uma metodologia para sistematização de experiências. Brasil: AS-PTA, 2007.

DIEZ HURTADO, A. Guía Metodologico para la Sistematizacion de Experiencias del Secretariado Rural. Secretariado Rural do Peru, Lima, 2001.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Porto Alegre: Artmed; Belo Horizonte: UFMG, 1999. LAWRENCE P. Lost in publication: how measurement harms science. **Ethics Science Environ Polit**, v. 8, p. 9-11, 2008.

MARTINS, V; SILVA, D.R.G; MARCHI, G; LEITE, M.C.A; MARTINS, E.S; GONÇALVES, A.S.F; GUILHERME, L.R.G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.194-204, 2015

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 Amazonica**, v. 42, p. 471-476, 2012.

REYNOLDS, O.L.; KEEPING, M.G.; MEYER, J.H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v.155, p. 171-186, 2009.

SANTOS, G.R.; RODRIGUES, A.C.; BONIFACIO, A.; JUNIOR, A.F.C.; TSCHOEKE, P.H. Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, p.403-408, 2014.

SHAMSHUDDI, N. J.; ANDA, M. Enhancing the productivity of Ultisols and Oxisols in Malaysia using basalt and/or compost. **Pedologist**, v. 55, n. 3, p. 382-391, 2012.

SILVA, E. D.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, n. 02, p. 323-333, 2008.

SILVA, F.J.P.; CARVALHO, A.M.X.; PETERSEN, P. Rochagem no manejo da fertilidade dos solos: experiências no centro sul do Paraná e no planalto norte catarinense. **Agriculturas**, v.12, p.30-36, 2015.

## CAPÍTULO 2

### DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE PÓS DE ROCHAS VIA ADUBAÇÃO VERDE DE INVERNO

#### RESUMO

Pós de rochas silicatadas são insumos empregados nas atividades agrícolas com a finalidade de fornecer nutrientes às plantas e melhorar as características químicas dos solos. Entretanto, o efeito destes insumos ocorre de médio a longo prazo e carece de tecnologias e práticas de manejo que aumentem a eficiência e a velocidade de disponibilização dos elementos presentes nessas fontes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do manejo antecipado e com adubos verdes na disponibilização de elementos presentes no pó de microgabro. Foram conduzidos dois experimentos a campo, um de modo participativo com agricultores familiares e outro de modo convencional. Os experimentos foram conduzidos por dois anos consecutivos em que a adubação verde antecedeu a cultura do feijão. Os tratamentos consistiram na semeadura de adubos verdes de inverno, antecipada a do feijão e aplicação total ou parcelada do pó de microgabro na semeadura dos adubos verdes ou do feijão. O pó de microgabro influenciou significativamente a produtividade do feijão, cerca de 77% a mais em relação ao tratamento controle, e aumentou a disponibilidade de cálcio no solo. O cultivo prévio de adubos verdes de inverno como estratégia para acelerar a liberação de nutrientes do remineralizador foi evidenciado apenas para o nutriente essencial mais abundante da rocha.

**Palavras-chave:** rochagem; pó de basalto; remineralizadores

## INTRODUÇÃO

A prática da rochagem no Brasil tem sido motivada por três questões principais: dependência externa por fontes 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 (Marin et al., 2016; Rodrigues et al., 2010); problemas na destinação adequada dos subprodutos de atividades mineradoras (Aguiar, 2013) e aumento da demanda das correntes de agricultura orgânica e agroecológica por fontes fertilizantes, uma vez que o uso de adubos de alta solubilidade é restrito neste segmento, conforme a lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003.

O termo rochagem refere-se à utilização do pó de uma rocha, mais comumente de rochas silicatadas, com aplicação direta e *in natura* nas atividades agropecuárias. O processo de obtenção é estritamente físico, empregando-se apenas a moagem da rocha. A rochagem possibilita um melhor aproveitamento dos subprodutos de pedreiras e de outras atividades de mineração, o que possibilita um menor custo no processo de obtenção do insumo e criação de novos mercados. Apesar de ser uma prática antiga, os pós de rochas silicatadas foram incluídos apenas recentemente na legislação brasileira dos fertilizantes, pela lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que enquadra este insumo na classe dos remineralizadores de solo.

Os “basaltos” são rochas ígneas extrusivas que apresentam uma ampla distribuição nas regiões sul e sudeste do Brasil devido à abrangência do trapp da Bacia do Paraná, um dos maiores derrames vulcânicos do mundo. Embora popularmente conhecidos apenas como “basaltos”, as rochas ígneas da Formação Serra Geral incluem não apenas os basaltos e os basalto-andesitos que dominam a unidade, mas também riolitos, riodacitos, dacitos, microgabros e outros materiais que comumente são tratados na região apenas como “basaltos”. O domínio por materiais extrusivos e de composição básica ou intermediária já sugere algum potencial de uso agrícola dessas rochas. Alguns trabalhos têm demonstrado que a aplicação de pós de “basaltos” melhora as características químicas do solo, disponibilizando elementos como P, K, Ca e Mg, além da redução da acidez trocável, correção da acidez ativa e aumento da CTC potencial do solo (Nunes et al., 2014; Lopes et al., 2014; Anda et al., 2013; Shamshuddin e Anda, 2012).

O processo de intemperismo químico, durante o qual ocorre a liberação de elementos, pode ser acelerado pela remoção de produtos solúveis das fontes uma vez que é governado basicamente por reações de hidrólise e dissolução. Agentes biológicos, em especial as raízes de plantas como demonstrado por Carvalho (2012), absorvem esses produtos e cumprem um papel preponderante na intensificação dos processos intempéricos. Conforme os elementos vão sendo extraídos da solução do solo, outros elementos são liberados dos minerais das rochas em função do deslocamento dos equilíbrios dessas reações (Harley & Gilkes, 2000). Neste aspecto, a utilização de plantas de cobertura ou adubos verdes tem sido recomendada como parte das estratégias de manejo para aumento da disponibilidade de elementos de fontes alternativas de nutrientes, principalmente em função da elevada capacidade de imobilização de nutrientes e da liberação de exsudados radiculares que aceleram a solubilização de nutrientes (Keuskamp et al., 2015; Magalhães et al., 1991).

Além de aumentar o potencial de liberação de elementos dessas fontes, o manejo com adubos verdes é uma alternativa em substituição ao pousio, principalmente em regiões de clima subtropical, onde o inverno impossibilita o cultivo de grande parte das culturas agrícolas anuais. Os adubos verdes aumentam a ciclagem de nutrientes, reduzem a lixiviação de elementos e favorecem maior aporte de matéria orgânica, o que melhora a qualidade do solo e beneficia os cultivos de verão.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito do manejo antecipado e com adubos verdes sobre a biodisponibilização de nutrientes de pós de rochas no solo e sobre o crescimento e produtividade do feijoeiro. Adicionalmente objetivou-se avaliar o efeito de diferentes formas de manejo da adubação com pós de rochas sobre o crescimento do feijoeiro e sobre a disponibilização de nutrientes no solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização geral**

Dois experimentos foram realizados a campo, em parceria com produtores rurais da região centro-sul do Paraná. O primeiro foi conduzido de forma participativa com cinco agricultores familiares dos municípios de São João do

Triunfo, Palmeira e Fernandes Pinheiro (Experimento I) e o segundo foi conduzido em uma pequena propriedade no município de Paula Freitas – PR (Experimento II). O clima da região é, segundo a classificação de Koppen, o Cfb (subtropical úmido com verão temperado).

As atividades relacionadas ao Experimento I foram planejadas e executadas com princípios da “experimentação participativa”, uma estratégia metodológica que, segundo Weaver e Cousins (2004) e Ribeiro e Barbosa (2005), proporciona maior interação de outros agentes da sociedade, ampliando assim as possibilidades e as perspectivas durante a geração de conhecimentos científicos. Desta forma, técnicos da ONG AS-PTA (Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa) e agricultores familiares foram também ativos no planejamento e condução dos experimentos. Entre as atividades participativas, uma oficina sobre rochagem foi realizada durante a implantação de parte do experimento na comunidade de Guaiaca no município de São João do Triunfo – PR (Figura 1).



**Figura 1.** Aplicação dos tratamentos do experimento I (à esquerda) ocorrida como parte das atividades da oficina sobre “Rochagem” (à direita) na comunidade de Guaiaca no município de São João do Triunfo – PR.

Os pós de rochas utilizados foram obtidos de duas pedreiras da região, apresentando composição litoquímica total diferenciadas (Tabela 1). No Experimento I foi utilizado apenas a amostra de microgabro e no Experimento II foi utilizado o microgabro e o dacito.

**Tabela 1.** Litoquímica total dos elementos principais dos pós de rochas utilizados

Elementos principais	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
	----- dag kg <sup>-1</sup> -----								
Microgabro <sup>1</sup>	51,13	13,99	13,48	10,79	6,70	0,51	2,10	0,12	0,19
Dacito <sup>2</sup>	65,46	12,41	7,04	3,28	1,56	3,37	4,01	0,30	0,13

<sup>1</sup>Microgabro (Pedreira Luzia, Paula Freitas-PR); <sup>2</sup>Dacito (Pedreira Jangada, Porto União-SC). Litoquímica total dos elementos principais determinados por Espectrometria de Fluorescência de raios-X e expressos em equivalente óxido.

### Desenho experimental e variáveis analisadas – experimento I

No experimento I, o delineamento experimental utilizado no experimento participativo foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Cada bloco correspondeu a uma área tradicionalmente usada para lavouras de cada um dos agricultores experimentadores, sendo quatro áreas sob Cambissolos Háplicos e uma sob Latossolo Vermelho Amarelo, ambas sob rochas sedimentares da Série Tubarão. Cada unidade experimental possuía 25 m<sup>2</sup>.

No experimento I os tratamentos consistiram em: (i) *Microgabro antecipado*: aplicação do pó de microgabro, em área total, na semeadura do consórcio de adubos verdes; (ii) *Microgabro não-antecipado*: consórcio de adubos verdes e aplicação do pó de microgabro apenas na semeadura do feijão e em área total; (iii) *Microgabro parcelado*: aplicação parcelada do pó de microgabro, sendo 2/3 antecipado (na semeadura dos adubos verdes) e 1/3 na semeadura do feijão e em área total e (iv) *Controle*: com adubos verdes mas sem aplicação do pó de microgabro. A dose aplicada do pó de microgabro foi de 3 t ha<sup>-1</sup>.

O consórcio de adubos verdes foi composto por ervilhaca (*Vicia sativa* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), centeio (*Secale cereale* L.). O preparo do solo para o plantio dos adubos verdes variou, de acordo com o agricultor experimentador, entre aração e gradagem ou apenas gradagem. A semeadura foi realizada à lanço com uma mistura das sementes das espécies em proporção de massa de 80% de gramíneas e 20% de ervilhaca. Esta adubação verde de inverno foi cultivada previamente ao feijão e mantida no campo até o florescimento, quando foi manejada com rolo faca e grade niveladora superficial.

O feijão (feijão-preto de uma variedade crioula da região conhecida como “taquara”) foi semeado em semeadura direta, com plantadeira manual ou mecanizada, a depender do agricultor experimentador. Nenhuma adubação adicional foi realizada no plantio do feijão. O espaçamento de plantio e os tratos

culturais foram definidos de acordo com a rotina de cada agricultor experimentador, mas tomando-se o cuidado para que fosse semelhante dentro da área experimental de cada agricultor.

O experimento I foi conduzido por dois anos sucessivos nas mesmas áreas, sendo a cultura do feijão conduzida até o florescimento, quando o crescimento da parte aérea foi avaliado. Após a colheita do feijão pelos agricultores, amostras de solos foram coletadas na camada de 0-20 cm para avaliação da disponibilidade de nutrientes.

## **Desenho experimental e variáveis analisadas – experimento II**

O experimento II foi conduzido paralelamente ao primeiro, com os mesmos objetivos mas com pequenas modificações nos tratamentos: (i) *Microgabro antecipado*: aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> de pó de microgabro na semeadura dos adubos verdes, sendo 2/3 da dose em área total e 1/3 no sulco de plantio; (ii) *Microgabro não-antecipado*: aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> de pó de microgabro na semeadura do feijão, sendo 2/3 da dose em área total e 1/3 no sulco de plantio; (iii) *Dacito antecipado*: aplicação antecipada, em área total, de 3 t ha<sup>-1</sup> de pó de dacito na semeadura dos adubos verdes e; (iv) *Controle*: com adubos verdes mas sem aplicação de pós de rochas. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso visando controlar um pequeno desnível na área experimental e com unidades experimentais de 16 m<sup>2</sup>. O solo da área experimental é classificado como um Latossolo Bruno (Embrapa, 2013).

Foi realizado preparo de solo através da aração e gradagem com tração animal. Na semeadura do feijão, utilizou-se semeadora manual e estande equivalente a 200 mil plantas por hectare, da variedade crioula de feijão-preto, conhecida na região como “taquara”. Os tratos culturais realizados foram capina manual e outros tratos de acordo com a rotina dos agricultores da região.

Após o florescimento das plantas de feijão foi realizado uma amostragem das plantas para estimativa do crescimento das plantas (matéria seca da parte aérea). Após a maturação fisiológica os grãos foram colhidos para estimativa da produtividade de grãos. Após a colheita amostras de solos foram coletadas para estimar a disponibilidade de nutrientes no solo.

## Métodos de avaliação e análises estatísticas

O crescimento das plantas dos experimentos I e II foi estimado pela matéria seca da parte aérea no estágio de florescimento. Dez plantas das três fileiras centrais de cada unidade experimental foram cortadas rente ao solo, lavadas em água e secas em estufa de circulação forçada a 65 °C até massa constante. No experimento II a produtividade de grãos foi estimada após a colheita dos grãos de dez plantas úteis de cada unidade experimental. Estes foram secos em estufa e a produtividade foi estimada corrigindo-se pela avaliação do estande de plantas previamente realizado.

Após a colheita do feijão, foram retiradas amostras compostas do solo, na camada de 0-20 cm, com auxílio de um trado holandês. Após a secagem ao ar das amostras e tamisação em peneira de 2 mm, procedeu-se as análises químicas do solo. Foram avaliados os teores de P, Si, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis no solo. Para determinação do Si disponível no solo, utilizou-se extrator ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> e determinação analítica por espectrometria de absorção molecular pelo método azul (Leite, 1997). Os elementos Ca e Mg foram extraídos pelo extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e os demais elementos pelo Mehlich-1 (relação solo:extrator de 1:10). Realizou-se a determinação de P por espectrometria de absorção molecular; K por espectroscopia de emissão de chama; Ca, Mg e micronutrientes por espectroscopia de absorção atômica segundo Donagema et al. (2011).

Os dados foram submetidos aos testes de Hartley, Jarque-Bera (Jarque & Bera, 1980) e ESD Generalizado (Rosner, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de SNK a 5 % de probabilidade. Quando não atendidas as pressuposições da ANOVA, os dados sofreram transformação logarítmica.

## RESULTADOS

O crescimento das plantas de feijão não foi influenciado pelos tratamentos em ambos os experimentos (Tabelas 1 e 2). A produtividade de feijão, no entanto, foi influenciada pelos tratamentos a depender das condições experimentais. No experimento I não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, mas no experimento II a produtividade apresentou um incremento significativo de 77% no tratamento com microgabro não-antecipado em relação ao controle sem pó de rocha (Tabela 2). No entanto, os dados de crescimento e produtividade de feijão não evidenciaram que o manejo da adubação com pó de rocha proposto, de forma antecipada juntamente com adubos verdes de inverno, tenha sido melhor que a simples aplicação ao solo no momento do plantio.

**Tabela 1.** Crescimento das plantas e produtividade de feijão no experimento I em função de diferentes formas de manejo da adubação com pó de microgabro (aplicação antecipada, não-antecipada ou parcialmente antecipada juntamente à adubação verde de inverno).

Tratamentos	Experimento I - Ano 1		Experimento I - Ano 2	
	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )	Prod. (kg ha <sup>-1</sup> )	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )	Prod. (kg ha <sup>-1</sup> )
F (ANOVA)	1,42 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
(i) Microgabro antecipado	56,6 a	1243,3 a	71,5 a	2638,5 a
(ii) Microgabro não-antecipado	62,4 a	1385,3 a	62,0 a	2785,8 a
(iii) Microgabro parcelado	65,1 a	1419,5 a	88,0 a	2142,1 a
(iv) Controle sem rocha	72,6 a	1322,5 a	58,0 a	2019,5 a
C.V. (%)	19,52	16,10	23,61	25,20

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 2.** Crescimento das plantas e produtividade de feijão no experimento II em função de diferentes formas de manejo da adubação com pós de rochas (aplicação antecipada, não-antecipada juntamente à adubação verde de inverno).

Tratamentos	Experimento II	
	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )	Prod. (kg ha <sup>-1</sup> )
F (ANOVA)	0,37 <sup>ns</sup>	3,74*
(i) Microgabro antecipado	37,4 a	2705,9 ab
(ii) Microgabro não-antecipado	33,1 a	2975,6 a
(iii) Dacito antecipado	33,3 a	2569,6 ab
(iv) Controle sem rocha	36,0 a	1678,6 b
C.V. (%)	21,85	25,19

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro.

Em geral os teores dos elementos disponíveis no solo ao final dos experimentos não foram influenciados pelos tratamentos, exceto para Ca, K e Zn, cujos comportamentos variaram a depender das condições experimentais (Tabelas 3, 4 e 5). A disponibilidade de K e Zn no solo após o segundo ano de avaliação do

experimento II foi menor no tratamento que recebeu microgabro antecipado em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Além disso, a disponibilidade de Zn no solo que recebeu o microgabro parceladamente (parte antecipado e parte não antecipado) foi maior que a disponibilidade desse elemento no solo quando o microgabro foi aplicado apenas antecipadamente (Tabela 4).

**Tabela 3.** Teores de Si, macro e micronutrientes disponíveis no solo ao final do primeiro ano de avaliação do experimento I em função de diferentes formas de manejo da adubação com pó de microgabro (aplicação antecipada, não-antecipada ou parcialmente antecipada juntamente à adubação verde de inverno).

Tratamentos	Ca --- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---	Mg	P	K	Si	Mn	Fe	Zn
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----							
F (ANOVA)	0,62 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	<sup>1</sup> 1,44 <sup>ns</sup>	2,05 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
(i) Microg. ant.	3,0 a	1,7 a	43,6 a	146,7 a	29,1 a	183,7 a	221,0 a	2,3 a
(ii) Microg. não-ant.	3,7 a	1,6 a	58,4 a	159,6 a	29,4 a	223,0 a	184,9 a	2,4 a
(iii) Microg. parc.	3,7 a	1,5 a	37,8 a	181,8 a	24,8 a	219,2 a	207,6 a	2,9 a
(iv) Controle	2,9 a	1,7 a	23,8 a	162,8 a	21,3 a	189,5 a	211,1 a	1,8 a
C.V.	36,9	7,8	29,2	13,9	34,7	17,0	26,0	22,3

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro.  
<sup>1</sup>Variáveis que sofreram transformação logarítmica.

**Tabela 4.** Teores de Si, macro e micronutrientes disponíveis no solo ao final do segundo ano de avaliação do experimento I em função de diferentes formas de manejo da adubação com pó de microgabro (aplicação antecipada, não-antecipada ou parcialmente antecipada juntamente à adubação verde de inverno).

Tratamentos	Ca --- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---	Mg	P	K	Si	Mn	Fe	Zn
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----							
F (ANOVA)	0,65 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	<sup>1</sup> 1,91 <sup>ns</sup>	6,90 <sup>**</sup>	<sup>1</sup> 0,82 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	<sup>1</sup> 2,01 <sup>ns</sup>	<sup>1</sup> 4,58 <sup>*</sup>
(i) Microg. ant.	3,9 a	2,9 a	29,1 a	141,8 b	54,2 a	157,0 a	174,9 a	2,4 b
(ii) Microg. não-ant.	4,5 a	3,0 a	54,4 a	172,7 a	74,4 a	200,0 a	113,8 a	3,5 ab
(iii) Microg. parc.	4,3 a	2,9 a	120,6 a	176,0 a	90,6 a	188,1 a	126,4 a	5,8 a
(iv) Controle	3,4 a	3,2 a	18,9 a	179,6 a	51,7 a	175,3 a	133,1 a	3,4 ab
C.V.	8,2	5,8	52,5	14,9	12,2	8,9	15,2	29,7

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro.  
<sup>1</sup>Variáveis que sofreram transformação logarítmica.

No experimento II a disponibilidade de Ca no solo foi aumentada, em média, em 28% nos tratamentos que receberam o pó de microgabro em relação ao controle (Tabela 5). Além disso, a aplicação antecipada de microgabro com adubos verdes promoveu um incremento significativo de 30% na disponibilidade de Ca em relação ao tratamento que recebeu microgabro de forma não-antecipada (Tabela 5).

O manejo da adubação com pó de dacito, na dose aplicada, não resultou em incremento significativo no crescimento das plantas nem em aumento na disponibilidade de nutrientes no solo (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teores de Si, macro e micronutrientes disponíveis no solo ao final do experimento II em função de diferentes formas de manejo da adubação com pós de rochas (aplicação antecipada, não-antecipada ou parcialmente antecipada juntamente à adubação verde de inverno).

Tratamentos	Ca	Mg	P	K	Si	Mn	Fe	Zn
	---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---			----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
F (ANOVA)	30,2 **	1,7 ns	<sup>1</sup> 0,21 ns	3,0 ns	1,0 ns	1,4 ns	0,2 ns	0,7 ns
(i) Microg. ant.	16,4 a	8,1 a	2,7 a	489,4 a	88,3 a	44,7 a	93,4 a	4,3 a
(ii) Microg. não-ant.	12,7 b	7,7 a	3,0 a	548,5 a	79,8 a	44,8 a	89,0 a	4,4 a
(iii) Dacito. ant.	10,7 c	8,4 a	2,2 a	415,0 a	90,0 a	40,7 a	87,8 a	3,4 a
(iv) Controle	11,4 bc	8,1 a	2,3 a	468,2 a	83,7 a	45,0 a	92,9 a	4,1 a
C.V.	8,2	5,8	52,5	14,9	12,2	8,9	15,2	29,7

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro.

<sup>1</sup>Variáveis que sofreram transformação logarítmica

## DISCUSSÃO

No experimento I (experimento participativo), não houve disponibilização significativa de elementos no solo e diferença no desempenho agrônômico da cultura do feijão, em nenhum dos dois anos, em relação ao tratamento controle (Tabelas 3 e 4). Tais resultados sugerem que os materiais testados possuem baixa ou lenta capacidade de fornecer nutrientes às plantas na pequena dose aplicada (3 t ha<sup>-1</sup>) ou indicam que os nutrientes disponibilizados pelas rochas não eram os limitantes ao crescimento do feijão nas condições experimentais testadas. Considerando, por exemplo, o nutriente mais abundante do microgabro (Ca), cujos teores são de três a quatro vezes menores que um calcário comum é perceptível que as doses aplicadas, sugeridas pela equipe da pesquisa e definidas em função da recomendação usual e do custo, foram muito baixas. Outros trabalhos também têm demonstrado que rochas basálticas aplicadas em baixas doses, até 4 ou 5 t ha<sup>-1</sup>, não promovem melhorias expressivas nas condições químicas do solo ou no desempenho agrônômico das culturas (Hanisch et al., 2013; Silva et al., 2012).

Apesar das baixas doses aplicadas do elemento via o pó de microgabro foi observada diferença significativa entre tratamentos na disponibilização de zinco no

solo, no segundo ciclo da cultura (Tabela 4). O desempenho superior do manejo parcelado pode estar relacionado à maior susceptibilidade à processos de adsorção específica do elemento quando o mesmo é aplicado de forma totalmente antecipada uma vez que o tempo de contato é fator chave na magnitude desse fenômeno. Vale lembrar que o Zn é mais vulnerável à adsorção específica à óxidos de Fe e Al do solo em comparação com os demais micronutrientes avaliados (Menezes et al., 2016).

Vários trabalhos indicam o potencial de disponibilização de elementos de fontes basálticas, mesmo em curto prazo e com doses semelhantes a utilizada neste trabalho (Lopes et al., 2014; Melo et al., 2012; Silva et al., 2008; Knapik & Angelo, 2007). Tal fato sugere que elementos tenham sido imobilizados pelos adubos verdes ou pela cultura do feijão e não tenham, portanto, resultado em aumento nos teores disponíveis no solo.

A disponibilidade prévia de nutrientes no solo é um fator que influencia a dinâmica de liberação dos mesmos a partir de fontes minerais. A velocidade de disponibilização será aumentada pela menor concentração de elementos na solução do solo. Desta forma, em um solo com teores elevados de um determinado elemento em solução, será reduzida a velocidade de solubilização deste elemento do remineralizador. Embora não tenha sido feita a caracterização química das áreas, pode-se notar, pelo tratamento controle, que a disponibilidade dos elementos avaliados era, em geral, relativamente alta, podendo não ter favorecido a disponibilização de elementos das fontes testadas.

Além disso, alguns trabalhos têm mostrado que formas não-trocáveis de elementos podem ser acessadas pelas plantas. Segundo Vieira et al. (2016) quantidades de K absorvido pela cultura do milho, após cultivos sucessivos, foram superiores aos de K trocável, evidenciando o acesso às formas não-trocáveis de K. Isto também demonstra a importância do aporte de formas não-trocáveis de elementos, como pela adição de remineralizadores, no solo, o que é negligenciado quando se analisa apenas teores de elementos disponíveis no solo.

Outro fator relacionado a aparente não solubilização de elementos e efeito do pó de microgabro, no experimento I, pode ser atribuída aos blocos, os quais podem apresentar interações com determinados tratamentos, não sendo percebido e discriminado o real efeito dos mesmos. Como demonstrado no experimento II, o efeito da aplicação do pó microgabro pôde ser notado já no primeiro ciclo do cultivo

de feijão, o que não ocorreu no experimento I, ainda que conduzido por dois ciclos. Também no experimento I, a variabilidade entre os blocos foi significativamente maior, em aspectos edafoclimáticos e operacionais, quando comparado ao experimento II.

## CONCLUSÕES

O uso do pó de microgabro pode aumentar a produtividade do feijoeiro e disponibilizar cálcio no solo. Esta disponibilização pode ainda ser potencializada com o cultivo prévio de adubos verdes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. de P. **Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da Província Esmeraldífera de Nova Era em solo agrícola.** Dissertação de Mestrado. Minas Gerais: Instituto de Geociências/UFMG; 2013. 98 p

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I. Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 132, p. 1-11, 2013.

CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico.** 2012. 116p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; et al. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos.** 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A.; JUNIOR, A. A. B.; SPAGNOLLO, E. Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p 100-107, 2013.

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, p.11–36, 2000.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. **Economics Letters**.v. 6, p. 255-259, 1980.

KEUSKAMP, D. H.; KIMBER, R.; BINDRABAN, P.; DIMKPA, C.; SCHENKEVELD, W. D. C. Plant exudates for nutrient uptake. VFRC Report, 4, 2015

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (ROSACEAE). **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997

LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V. M.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1547-1557, 2014.

MAGALHÃES, J. D.; VIEIRA, R.; PEREIRA, J.; PERES, J. Efeito da adubação verde na disponibilidade de fósforo de fosfatos, numa sucessão de culturas, em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15: 329-337, 1991.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016.

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 Amazonica**, v. 42, p. 471-476, 2012.

MENEZES, J. P. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; GENEROSO, C. M.; FRANCO, C. S.; FIA, R.; FIA, F. R. L. Mobilidade de metais pesados em solos de disposição de resíduos sólidos urbanos Mobility of heavy metals in soils of arrangement municipal solid waste. **Ambiência**, v. 12, n. 3, p. 909-919, 2016.

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

RIBEIRO, S. S.; BARBOSA, W. A. Saberes agroecológicos: entrelaçando o popular e o científico. **Ação Ambiental**, v. 30, p. 12-14, 2005.

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

ROSNER, B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. **Technometrics**, v. 25, p. 165 – 172, 1983

SHAMSHUDDIN, J.; ANDA, M. Enhancing the productivity of Ultisols and Oxisols in Malaysia using basalt and/or compost. **Pedologist**, v. 55, n. 3, p. 382-391, 2012.

SILVA, A.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C.; AMARANTE, C. V. Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 548-554, 2012.

SILVA, E. D.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, n. 02, p. 323-333, 2008.

VIEIRA, M. D. S.; de OLIVEIRA, F. H.; SANTOS, H. C.; MEDEIROS, J. D. S. D. Contribution of non-exchangeable potassium forms and its accumulation in corn plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 9-15, 2016.

WEAVER, L.; COUSINS, J.B. Unpacking the participatory process. **Journal of Multidisciplinary Evaluation**, v. 1, n. 1, p. 19-40, 2004.

## CAPÍTULO 3

### CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E DISPONIBILIZAÇÃO DE SILÍCIO, POTÁSSIO E SÓDIO POR DIFERENTES DOSES E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE FONOLITO

#### RESUMO

Devido à baixa reatividade os remineralizadores são aplicados, via de regra, na forma de pós. A utilização de materiais mais grosseiros ou a granulação do material, embora possam comprometer a reatividade, poderão facilitar a aplicação destes insumos. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a correção da acidez e a disponibilização de K, Na e Si no solo, por diferentes doses e frações granulométricas do fonolito. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x5) + 1, sendo três frações granulométricas do fonolito (pó fino, pó grosso e granulado) cinco doses aplicadas (0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 7,0 t ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha adicional. Dois experimentos foram conduzidos sob igual matriz experimental, um com um Latossolo Vermelho e outro com um Neossolo Quartzarênico, ambos incubados em condições aeróbicas, sob temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Após 150 dias de incubação foram determinados o pH e os teores de K, Na e Si disponíveis. Os resultados obtidos demonstraram o potencial do fonolito em disponibilizar significativamente K, Na e Si, além de aumentar o pH dos solos.

**Palavras-chave:** rochagem; fontes alternativas fertilizantes; pH do solo

#### INTRODUÇÃO

A dependência externa por fertilizantes no Brasil, indica problemas de vulnerabilidade econômica e de insegurança alimentar do setor agropecuário. Cerca

de 70% das fontes fertilizantes utilizadas na agricultura são importadas, podendo chegar a 90%, como no caso do K (Marin et al., 2016; Rodrigues et al., 2010).

Algumas rochas silicatadas são fontes multielementares que apresentam ampla distribuição no território nacional. Entre estas rochas está o fonolito, uma rocha ígnea vulcânica abundante no Complexo Alcalino de Poços de Caldas (MG), e que apresenta teores expressivos de K. Esta rocha tem se destacado entre as fontes alternativas de potássio pela sua mais rápida disponibilização de K em comparação à outros materiais silicatados (Martins et al., 2015), o que deve estar relacionado à granulometria fina e à presença do K em feldspatóides e em outros materiais mal cristalizados e até amorfos (Teixeira et al., 2012).

Pela prática da rochagem, regulamentada recentemente pela lei dos remineralizadores nº. 12.890/2013, torna-se possível o aproveitamento de rochas moídas que atendam requisitos mínimos em termos de concentração de nutrientes e desempenho agrônômico, além de requisitos ligados à presença de elementos potencialmente tóxicos e de sílica livre. Como fontes multielementares de baixa solubilidade, as limitações principais dos remineralizadores estão relacionadas aos baixos teores, e conseqüentemente às altas doses recomendadas, à muito baixa reatividade das fontes se comparado às fontes convencionais e à granulometria em pó. Além dessas limitações, em alguns casos a presença de elementos potencialmente tóxicos, como Al, Na e metais pesados podem resultar em efeitos não desejados no solo. No caso do Na, são escassos trabalhos relacionados à disponibilização deste elemento no solo pela aplicação de remineralizadores (Machado, 2016).

O elemento mais abundante nos remineralizadores em geral é o silício (Si). Apesar de não essencial, é um elemento benéfico às plantas, apresentando funções na redução da incidência e severidade do ataque de pragas e doenças (Santos et al., 2014; Anjos et al., 2014; Reynolds et al., 2009). O Si no solo está na forma de ânions silicato, os quais se protonam no momento em que são hidrolisados da estrutura de minerais silicatados. Nesse processo, atuam na correção da acidez do solo e os ânions liberados podem ainda competir pelos sítios de adsorção de fosfatos, aumentando a disponibilidade de P na solução do solo (Martins et al., 2015; Tokura et al., 2011).

O pó de fonolito, apesar de ser uma fonte multielementar e atender aos critérios da classe dos remineralizadores está registrado para uso agrícola, desde

data anterior à regulamentação dos remineralizadores, como um fertilizante simples fonte de Si e K, cujas garantias mínimas são 54% de SiO<sub>2</sub> e 8% de K<sub>2</sub>O. A granulometria incomum do material, 100% passante na peneira de 0,075 mm, implica em maiores custos e dificuldades diversas na aplicação e na mistura com outras fontes fertilizantes. Por outro lado, se esta fonte tipicamente de baixa solubilidade for aplicada em frações mais grosseiras, ou for submetida à um processo de granulação, corre-se o risco de reduzir sua capacidade de liberação de nutrientes uma vez que as reações do intemperismo químico são, em princípio, fortemente dependentes de grande área superficial específica.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram avaliar a correção da acidez e disponibilização de K, Na e Si no solo, por diferentes doses e frações granulométricas do fonolito.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização geral

Dois experimentos de incubação, de igual matriz experimental, foram conduzidos nas dependências do Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Viçosa *campus* Rio Paranaíba, um com uma amostra de um Neossolo Quartzarênico e outro com uma amostra de um Latossolo Vermelho. Os solos foram coletados, da camada de 0 a 20 cm, no município de Rio Paranaíba, sendo secos ao ar e passados em peneira de 2 mm de abertura. A capacidade de campo dos solos foi estimada pelo método da proveta adaptado de Fernandes e Sykes (1968).

As amostras de fonolito utilizado foram adquiridas diretamente com o fabricante, sendo apenas o pó fino disponível comercialmente no momento. Na litoquímica total desta rocha destaca-se os teores de Si, K, Na e Zn (Tabela 1).

**Tabela 1.** Litoquímica total dos elementos principais e benéficos do fonolito

Elementos principais	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
	----- % (dag kg <sup>-1</sup> ) -----								
	54,00	9,60	3,40	1,50	0,20	8,69	6,74	0,05	0,22
Elementos benéficos	Cu	Zn	Mo	Li	Se	Co	V	Ni	La
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
	14	125	65	28	<20	<8	67	<3	108

Teores dos elementos principais expressos em óxidos. Determinação elementar após digestão triácida e quantificação dos elementos em ICP-OS.

### **Desenho experimental e variáveis analisadas**

Os experimentos consistiram em 16 tratamentos estruturados em um fatorial  $(3 \times 5) + 1$ , sendo três frações granulométricas do fonolito (pó fino, pó grosso e granulado) aplicadas em cinco doses (correspondentes a 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 7,0 t ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha adicional sem aplicação do pó. Os experimentos foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

As unidades experimentais consistiram de recipientes de vidro com 300 g de TFSA que foram incubadas, após receberem os tratamentos, em condições aeróbicas, ao abrigo de luz e sob umidade controlada a 70% da capacidade de campo. Após 150 dias de incubação os solos foram secos, passados em peneira de 2 mm e submetidos as análises químicas para determinação do pH, K, Na e Si disponíveis.

### **Análises químicas e estatísticas**

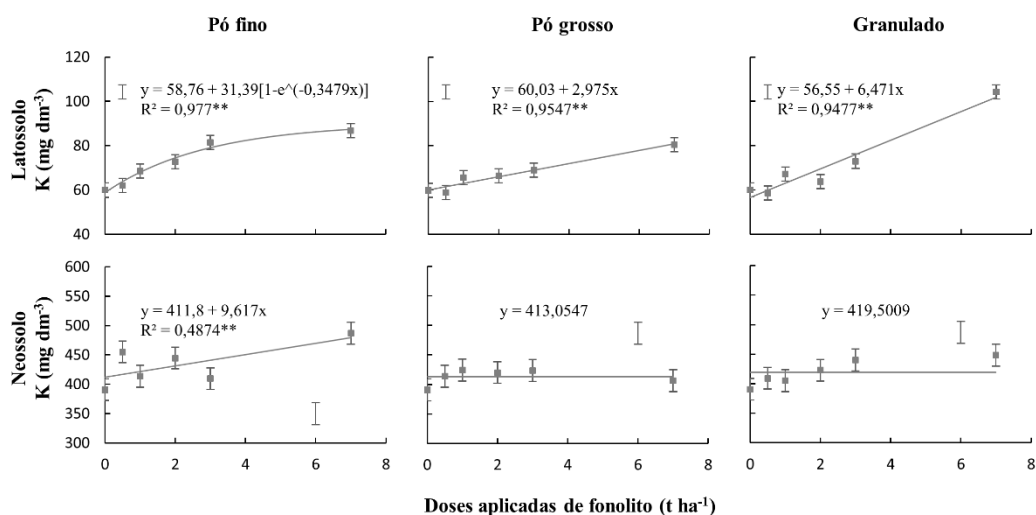
O pH em água do solo (relação solo:água de 1:2,5) foi determinado de acordo com Donagema et al. (2011). O Si disponível no solo foi extraído pela solução extratora de ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> e determinado por espectrometria de absorção molecular pelo método azul (Leite, 1997). Para K e Na o extrator foi solução de Mehlich-1 (relação solo:extrator de 1:10) e determinação por espectrofotometria de chama (Donagema et al., 2011).

Os dados foram submetidos aos testes de Hartley, Jarque-Bera (Jarque & Bera, 1980) e ESD Generalizado (Rosner, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o comportamento das doses foi avaliado por meio de análise de regressão. Considerou-se a significância das ANOVAs das regressões e a não-significância da falta de ajuste apenas para os modelos linear, quadrático, raiz quadrada, Mitscherlich e logístico.

## **RESULTADOS**

Houve incrementos significativos nos teores de K disponíveis no solo em função das doses de fonolito aplicadas (Figura 1). No entanto, no experimento sob

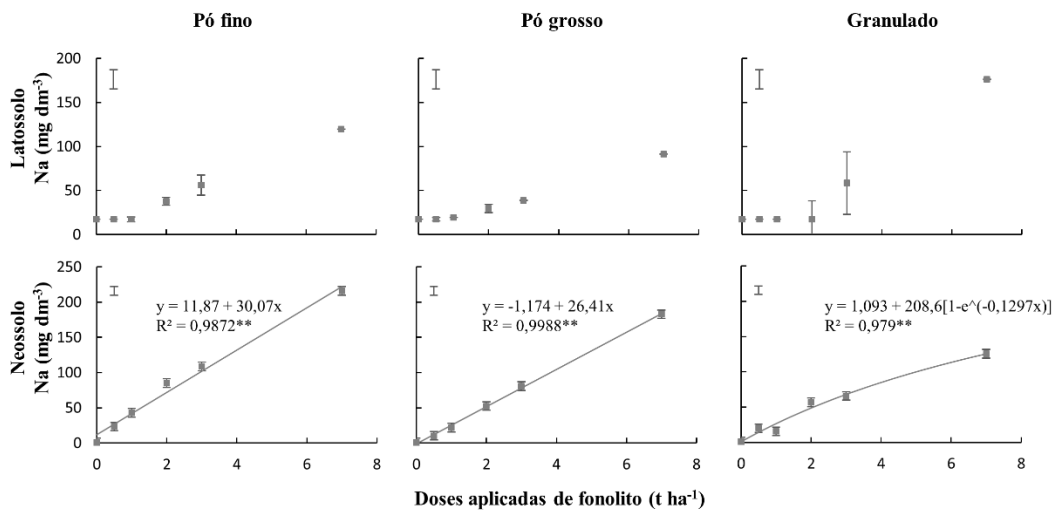
Neossolo esse incremento ocorreu apenas quando o fonolito foi aplicado na forma de pó fino. No Latossolo, embora os incrementos tenham sido significativos em função das doses crescentes aplicadas, houve diferenças no comportamento destes incrementos entre as formas pó fino (crescimento exponencial seguido de estabilização), pó grosso (crescimento linear correspondente a incrementos de 3 mg dm<sup>-3</sup> por tonelada de fonolito) e granulado (crescimento linear correspondente a incrementos de 6,5 mg dm<sup>-3</sup> por tonelada de fonolito) (Figura 1).



**Figura 1.** Disponibilização de K em amostras de Latossolos e Neossolos (mg dm<sup>-3</sup>) em função da aplicação de doses crescentes de fonolito em diferentes frações granulométricas. Barras associadas às médias representam o erro padrão e barra isolada representa o intervalo de confiança do experimento.

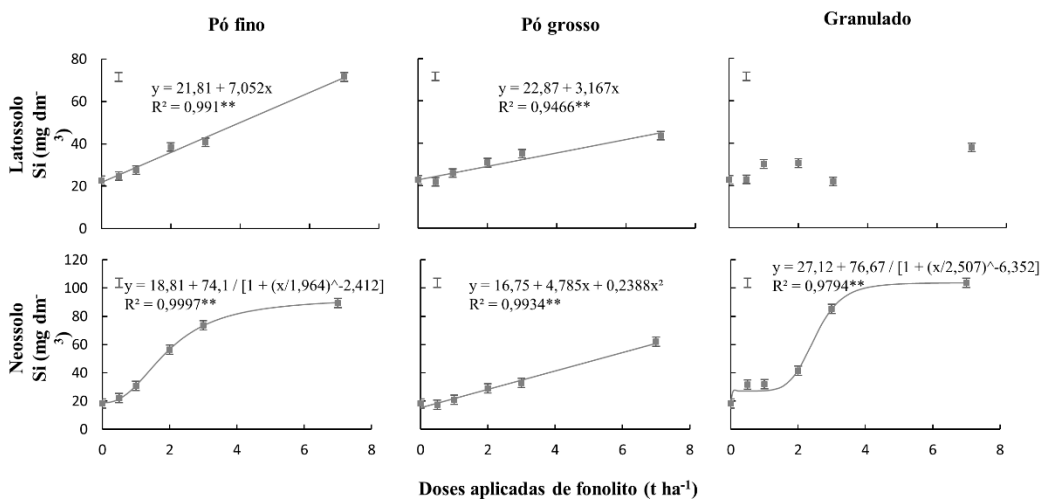
Houve incrementos significativos nos teores de Na disponíveis no solo em função das doses de fonolito aplicadas em ambos os experimentos (Figura 2). No entanto, no experimento sob Latossolo esse incremento seguiu uma tendência próxima à exponencial crescente enquanto no experimento com Neossolo esse incremento foi linear (pó fino e pó grosso) ou muito próximo ao comportamento linear (granulado) (Figura 2).

Na maior dose aplicada de fonolito os incrementos nos teores de Na no solo chegaram a 216 mg dm<sup>-3</sup> no Neossolo e a 176 mg dm<sup>-3</sup> no Latossolo (Figura 2). No Neossolo a forma granulada resultou em uma menor disponibilização de Na no solo em relação aos pós. Este padrão de comportamento, no entanto, não foi evidenciado no Latossolo (Figura 2).



**Figura 2.** Disponibilização de Na em amostras de Latossolos e Neossolos ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), em função da aplicação de doses crescentes de fonolito em diferentes frações granulométricas. Barras associadas às médias representam o erro padrão e barra isolada representa o intervalo de confiança do experimento.

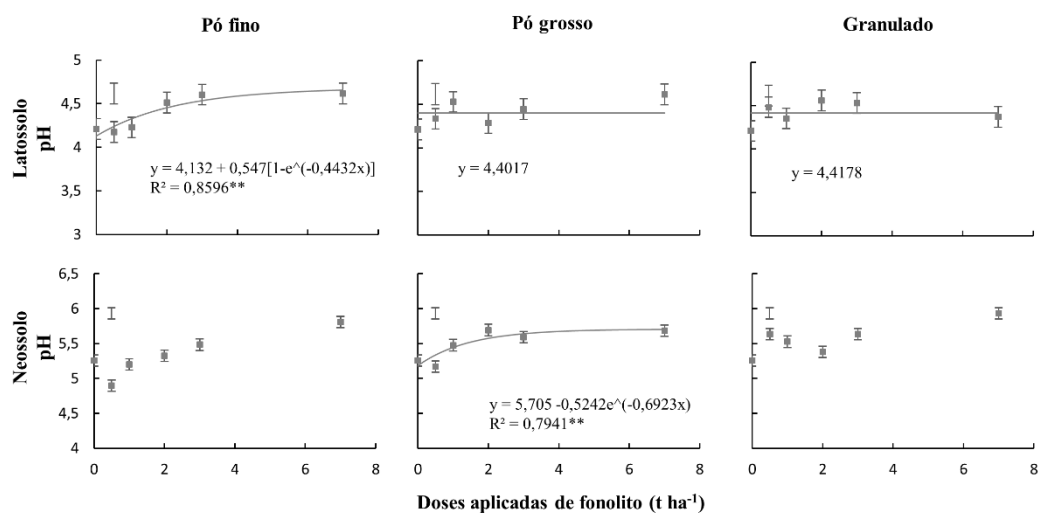
Houve incrementos significativos nos teores de Si disponíveis no solo em função das doses de fonolito aplicadas (Figura 3). O comportamento destes incrementos variou bastante, mas as formas de pó fino e granulado promoveram, em geral, incrementos maiores na disponibilidade de Si que a forma de pó grosso (Figura 3).



**Figura 3.** Disponibilização de Si em amostras de Latossolos e Neossolos ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função da aplicação de doses crescentes de fonolito em diferentes frações granulométricas. Barras associadas às médias representam o erro padrão e barra isolada representa o intervalo de confiança do experimento.

Houve também incrementos significativos nos valores de pH do solo em função das doses de fonolito aplicadas (Figura 4). No entanto, no Latossolo estes

incrementos ocorreram apenas quando o fonolito foi aplicado na forma de pó fino. Apenas no Neossolo o fonolito permitiu uma elevação do pH do solo a valores superiores a 5,7 (Figura 4).



**Figura 4.** Alterações no pH de um Latossolo e um Neossolo em função da aplicação de doses crescentes de fonolito em diferentes frações granulométricas. Barras associadas às médias representam o erro padrão e barra isolada representa o intervalo de confiança do experimento.

## DISCUSSÃO

Apesar da disponibilização de K pela aplicação de fonolito ter sido verificada na maioria dos casos, alguns fatores podem ter impedido esta liberação pelas formas de pó grosso e granulado no Neossolo (Figura 1). O K disponível previamente no solo era elevado, o que provavelmente interferiu negativamente sobre as taxas de dissolução dos minerais fontes de K do fonolito. Apesar disso, a aplicação de doses crescentes de fonolito na forma de pó fino foi capaz de ainda promover elevação na disponibilidade deste elemento.

Alguns trabalhos têm demonstrado o potencial do fonolito em disponibilizar K no solo (Martins et al., 2015) e em proporcionar aumento de produtividades em culturas, quando comparado a fontes de alta solubilidade, como o KCl (Crusciol & Soratto, 2013).

Embora esteja relacionado à salinidade dos solos, o Na em baixos níveis é um elemento benéfico às plantas, podendo substituir parcialmente o K em funções

osmóticas e reações enzimáticas. Este fato tem sido demonstrado principalmente em trabalhos envolvendo espécies florestais e frutíferas (Sette Júniot et al., 2014; Silva et al., 2014; Almeida, 2009). Entretanto, as concentrações de Na atingidas no solo nas condições experimentais deste trabalho evidenciam que sob altas doses e sob aplicações sucessivas o fonolito pode resultar em problemas de acúmulo de Na no solo. Machado (2016) obteve níveis de saturação por Na de 3,6%, pela aplicação de fonolito, sendo mais da metade dos 6% que indicam um solo solódico. Entretanto, conforme demonstrado também pelo mesmo autor, o uso de gesso juntamente ao fonolito, reduziu expressivamente o acúmulo de Na no solo.

O aumento do pH foi evidenciado na maioria das situações, embora não tenha sido possível ajustar modelos pré-definidos destes incrementos em todos os casos. As situações que resultaram em menor incremento nos teores de Si (pó grosso e granulado no experimento com Latossolo) (Figura 3) foram também as que não resultaram em incremento no pH do solo (Figura 4), o que evidencia que a elevação do pH está associada à disponibilização de Si nestes materiais.

O Si além de ser um elemento benéfico às plantas, está relacionado também com a disponibilização de P no solo, pois pode competir pelos mesmos sítios de adsorção deste elemento no solo. Ainda que não tenha sido avaliado neste trabalho, alguns autores constataram que a aplicação de fontes de silício disponibiliza P no solo (Martins et al., 2015; Castro & Crusciol, 2013; Carvalho et al., 2001; Prado & Fernandes, 2001).

De maneira geral, o incremento de elementos nos solos esteve fortemente associado ao tipo de fração granulométrica do remineralizador. A aplicação do fonolito na forma de pó fino apresentou, de um modo geral, maior potencial de utilização pela melhor resposta após 150 dias de incubação. Tal fato pode ser explicado pela maior superfície de contato do material em pó fino, que o torna mais reativo e potencializa a liberação de elementos, e conseqüentemente, seus efeitos no solo. O bom desempenho da forma granulada na maior dose, no experimento com Latossolo, no entanto, evidencia um potencial das tecnologias de granulação visando conciliar reatividade com facilidade de manejo de fontes nutrientes desta natureza. A principal vantagem na utilização do remineralizador neste tipo de fração granulométrica é a facilidade na aplicação localizada no sulco de plantio, considerando as sementeiras atualmente disponíveis.

## CONCLUSÕES

A aplicação de fonolito disponibiliza K, Na e Si, e promove aumento do pH em Latossolos e Neossolos em tendências distintas em função das frações granulométricas. A aplicação do fonolito na forma de pó fino é, de um modo geral, a mais eficaz embora a forma granulada testada seja promissora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus grandis fertilizados com potássio e sódio**. Piracicaba. 2009. 112 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

ANJOS, T. V.; TEBALDI, N. D.; MOTA, L. C. B. M.; COELHO, L. Fontes de silício no controle da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, v.40, p.365-367, 2014.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 557-565, 2001.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, v.195-196, p.234-242. 2013.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Eficiência de rocha fonolito moída como fonte de potássio para as culturas de arroz, feijão, milho e soja. In: Anais do Congresso Brasileiro de Rochagem, II. Poços de Caldas-MG, 12 a 17 de maio de 2013. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013, 399p.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; et al. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERNANDES, B.; SYKES, D. J. Capacidade de campo e a retenção de água em três solos de Minas Gerais. **Ceres**, v.15, n.83, p.1-39, 1968.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. **Economics Letters**. v. 6, p. 255-259, 1980.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MACHADO, L. G. **Características químicas do solo, produtividade e nutrição de café e capim braquiária fertilizados com pó de fonolito e termopotássio**. 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal). Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba. 2016.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016

MARTINS, V; SILVA, D. R. G; MARCHI, G; LEITE, M. C. A; MARTINS, E.S; GONÇALVES, A.S.F; GUILHERME, L.R.G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.194-204, 2015.

MELO, V. D. F.; CORRÊA, G. F.; RIBEIRO, A. N. U.; MASCHIO, P. A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p.533-545, 2005.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, 1199-1204, 2001.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v.155, p. 171-186, 2009.

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.

ROSNER B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. **Technometrics**. v. 25, p 165 – 172, 1983

SANTOS, G. R.; RODRIGUES, A.C.; BONIFACIO, A.; JUNIOR, A. F. C.; TSCHOEKE, P. H. Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, p.403-408, 2014.

SETTE JÚNIOR, C. R.; DEUS JUNIOR, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; PÁDUA, F. A.; CALIL, F. N.; LACLAU, J. P. Alterações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação mineral. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 251-258, 2014.

SILVA, I. P.; RODAS, C. L.; FERREIRA, E. D.; CARVALHO, J. G. Crescimento e nutrição de mudas de pinhão manso influenciados pela substituição do potássio pelo sódio. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 194-199, 2014.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v.28, p.21-34, 2012.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOIVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.33, p.171-179, 2011..

## CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação do pó de basalto aumenta a produtividade das culturas agrícolas, favorece o manejo fitossanitário e melhora os atributos químicos do solo. Também, quando utilizada na alimentação animal, apresenta potencial em reduzir o ataque de carrapatos e maus odores nas fezes dos bovinos, aumentar a resistência e quantidade de ovos de galinhas e proporcionar outras melhorias associadas à saúde animal.

O uso do pó de microgabro pode aumentar a produtividade do feijoeiro e disponibilizar cálcio no solo. Esta disponibilização pode ainda ser potencializada com o manejo da rocha de forma antecipada juntamente com a adubação verde de inverno.

A aplicação do pó de fonolito disponibiliza K, Na e Si, e promove aumento do pH em Latossolos e Neossolos, e apresenta tendências distintas em função das frações granulométricas do fonolito utilizado. Entretanto, a aplicação do fonolito deve ser feita com restrições, pela elevada disponibilização de Na, principalmente em Neossolos.